Agriculture and Agri-Food Canada / Agriculture et Agroalimentaire Canada



Direction générale de la recherche
Bulletin technique 1994-4F

Cadre méthodologique d'une étude détaillée des sols et son application en terrain plat

Centre for Land and Biological Resources Research



Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques

Canada

Cover illustration
The images represent the Research Branch's objective: to improve the long-term competitiveness of the Canadian agri-food sector through the development and transfer of new technologies.

Illustration de la couverture
Les dessins illustrent l'objectif de la Direction générale de la recherche : améliorer la compétitivité à long terme du secteur agro-alimentaire canadien grâce à la mise au point et au transfert de nouvelles technologies.



Cadre méthodologique d'une étude détaillée des sols et son application en terrain plat

Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques
Équipe du Québec
Ste-Foy (Québec)

Rédigé par:
M.C. NOLIN, L. LAMONTAGNE et J.C. DUBÉ

Bulletin technique 1994–4F

Direction générale de la recherche
Agriculture et Agro-alimentaire Canada
1994

On peut obtenir des exemplaires de cette
publication à l'adresse suivante:

Agriculture et Agro-alimentaire Canada
Équipe pédologique fédérale
Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques
Direction générale de la recherche
350, rue Franquet, entrée 20
Ste-Foy, Québec
G1P 4P3

Publié par le Centre de recherches sur les terres
et les ressources biologiques
CRTRB n° de contribution 93-41

N° de cat. A54-8/1994-4F
ISBN 0-662-99963-0

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES ENCADRÉS

LISTE DES TABLEAUX

LISTE DES FIGURES

Page

RÉSUMÉ

Ce bulletin technique présente la version améliorée par dix années de recherche et d'expertise sur le terrain de la méthodologie proposée par Nolin (1983b) pour cartographier les sols de la plaine de Montréal à grande échelle (1 : 20 000). Basée sur une approche itérative suivant les grandes étapes de la démarche scientifique, la méthode proposée permet de réaliser une prospection de qualité à moindre coût que les méthodes traditionnelles (*i.e.* la prospection libre ou systématique) tout en respectant les différents niveaux naturels d'organisation de la couverture pédologique.

La philosophie d'approche est discutée et décrite ainsi que les treize étapes nécessaires pour couvrir l'ensemble des activités et produits que comporte une prospection des sols à ce niveau. Les exemples illustrant la démarche sont tirés des différents projets de prospection détaillée des sols de la plaine de Montréal couvrant jusqu'à date environ 300,000 ha.

ABSTRACT

This technical bulletin describes the soil survey methodology proposed by Nolin (1983b) for mapping the Montreal lowlands soils at a scale of 1 : 20 000, as it has been improved after ten years of experiment and application. Based on an iterative approach adopting most of the common stages of the scientific methodology, this soil survey methodology is more rapid, of higher quality and less expensive than conventional soil survey procedures (*i.e.* free and grid survey) and integrates the various levels of organization of the soil mantle.

The philosophical approach of this methodology and the thirteen operational stages designed to cover all activities and deliverable products of a soil survey project are described. Examples used to illustrate this methodology are drawn from some Montreal lowlands soil survey projects where 300 000 ha have already been mapped.

1. Introduction

La recherche fondamentale sur l'étude des éléments dont l'ensemble constitue le sol (genèse et classification) a été suivie au cours des années 80 par le développement de la pédologie appliquée, *i.e.* l'étude des modalités d'assemblage (organisation, typologie, *etc.*) de ces éléments (Boulaine 1989). Les efforts en ce domaine ont principalement porté sur la documentation et la normalisation des différentes méthodes et techniques de prospection pédologique (Soil resource inventory group 1981, Groupe de travail sur les systèmes cartographiques (G.T.S.C.) 1982, Coen 1987). L'accès à des outils de plus en plus sophistiqués, particulièrement en matière de télédétection et de traitement de l'information, a ainsi permis aux pédologues de développer de nouvelles techniques d'inventaire. C'est dans cet esprit qu'une stratégie de prospection a été élaborée et proposée par Nolin (1983b) pour la réalisation des projets de cartographie à grande échelle (1 : 20 000) des sols de la plaine de Montréal. Cette méthode devait être adaptée aux conditions particulières des terrains plats, répondre aux normes de qualité (fiabilité, précision, pertinence et facilité d'utilisation de l'information) propres aux études pédologiques détaillées et présenter le maximum d'efficacité de façon à respecter les contraintes budgétaires associées au projet.

La plaine de Montréal présente en effet certaines caractéristiques qui, jumelées à la faible expérience du personnel assigné à l'étude au début du projet, se traduisaient par une efficience pédologique plutôt faible[1]. En effet, le relief généralement plat de cette région, la grande diversité granulométrique des matériaux meubles qui la composent, lesquels présentent la plus part du temps des transitions lentes les uns par rapport aux autres, la rareté et la faiblesse des traits physiographiques (*v.g.* forme des ravins, tracé des cours d'eau, dunes, cordons littoraux, *etc.*) rendaient la photo-

[1] L'efficience pédologique est fonction de différents critères : la disponibilité et l'efficacité des documents accessoires à la cartographie (*v.g.* photographies aériennes, cartes topographiques, géologiques, *etc.*), l'expérience des pédologues, la complexité et l'accessibilité du territoire à cartographier et la date du relevé (Boulaine 1966).

interprétation moins efficace pour délimiter les unités cartographiques de sols que pour les régions physiographiques au relief plus prononcé (*v.g.* Appalaches, Laurentides, piedmont, *etc.*). De plus, la prospection libre (*free survey*), qui est généralement utilisée au Canada pour le relevé des sols à moyenne échelle (*v.g.* 1 : 50 000) et dont l'approche de base repose sur une utilisation efficace de la photo-interprétation par des pédologues expérimentés (Bridges 1982, Dent et Young 1981), était peu adaptée à la cartographie à grande échelle des sols de cette région. Une nouvelle méthode de prospection s'imposait donc pour réaliser l'étude détaillée des sols de ce territoire.

Cette méthode a connu plusieurs améliorations depuis sa création suite à l'expérience acquise et aux recherches menées par les auteurs parallèlement aux travaux de prospection (Nolin et coll. 1989, Nolin et Lamontagne 1991, Nolin et coll. 1991, Nolin et Caillier 1992a,b,c). L'objectif de ce bulletin technique est de décrire l'approche et la méthodologie proposées pour réaliser une étude détaillée des sols de qualité et d'illustrer son application à la cartographie des sols en terrain plat.

Les concepts et les principes philosophiques à la base de cette méthodologie y sont d'abord discutés. Y sont énumérées et comparées les normes de qualité caractérisant les études pédologiques semi-détaillées et détaillées. Le texte se termine par la description des treize étapes nécessaires à la couverture de l'ensemble des activités et produits (cartes, rapports, guides, base de données, *etc.*) que comporte une prospection des sols à grande échelle.

2. Concepts de base

Certains concepts tirés de la pédologie moderne sont à la base de la méthodologie proposée pour réaliser une étude détaillée des sols. La description de ceux-ci s'avère nécessaire pour faciliter la compréhension du lecteur, particulièrement ceux qui sont moins familiers avec le langage technique des pédologues.

2.1 Les concepts de "sol" et de "couverture pédologique"

Le sol est un objet **naturel** car préexistant à l'homme et parce que sa formation, son évolution et son fonctionnement sont régis par des lois naturelles comme celles qui gouvernent les échanges énergétiques, les réactions chimiques, biochimiques, physiques, *etc.* (Baize 1986). Le sol peut aussi être vu comme un **système ouvert** parce qu'il subit des entrées et des sorties de matière et d'énergie à l'intérieur de ses limites d'organisation spatiale (Simonson 1959).

Originaire de l'école pédologique russe et utilisé en France depuis une vingtaine d'années, le concept de "couverture pédologique" représente la partie la plus superficielle de la lithosphère qui est transformée par l'action du climat, des organismes végétaux et du relief pendant une certaine période de temps (Baize 1986). Comparativement à la notion de "sol" qui est perçu très différemment selon les disciplines concernées, le concept de couverture pédologique est plus spécifique et surtout fort utile en cartographie car il implique une certaine extension géographique et une continuité (Baize 1986).

2.2 Les unités d'échantillonnage

Pour étudier des couvertures pédologiques, il est indispensable de creuser des tranchées, des fosses ou simplement de prélever des carottes au moyen d'une tarière. On appelle "**exposition**" cette partie de la couverture pédologique que le cartographe inspecte ou échantillonne afin d'en faire la description sous forme de profil (superposition d'horizons) sur sa fiche quotidienne (G.T.S.C. 1982). Les expositions ont rarement la dimension du **pédon**, la plus petite unité tridimensionnelle à la surface de la terre utilisée en taxonomie pour représenter l'unité élémentaire d'organisation de la couverture pédologique (Soil survey staff 1975). Les propriétés du pédon sont généralement déduites statistiquement à partir des expositions inspectées à l'intérieur d'une aire approximativement égale à sa taille théorique (1-10 m^2). Le **site** est la partie du paysage associée à l'exposition (G.T.S.C. 1982).

2.3 Les unités cartographiques

Le **polygone**, aussi appelé "**délimitation cartographique**", est l'élément de base, le produit de la cartographie. Contrairement à l'unité cartographique, il représente une partie réelle du pédopaysage. L'**unité cartographique** représente des portions du pédopaysage ayant des attributs variant entre des limites plus ou moins étroites. Elle est généralement répétitive et comprend tous les polygones qui contiennent exactement le même symbole. L'unité cartographique est donc conceptuelle car l'étendue global de ses propriétés est définie par tous les polygones qui la composent et qu'aucun de ces polygones ne contient toutes ses propriétés à la fois (G.T.S.C. 1982).

Les unités cartographiques peuvent être subdivisées en plusieurs types selon l'abondance et la relation spatiale des taxons désignés dans l'unité (**composante**). Une unité peut aussi inclure d'autres taxons que ceux désignés dans la légende; ceux-ci sont soit peu contrastants ou en quantité trop restreinte pour affecter l'aménagement de l'unité. On les appelle "**inclusions**".

Les **consociations** sont des **unités simples** car seulement un taxon est identifié dans la désignation de l'unité. Par contre, dans d'autres unités, deux à quatre taxons peuvent être désignés comme composantes. Ce sont des **unités composées**. L'ordre d'énumération des composantes reflètent leur importance superficielle dans l'unité. Lorsque ces taxons ne peuvent être délimités individuellement sur la carte à l'échelle de 1 : 20 000, ces unités sont plus spécifiquement des **complexes** de sols. Par contre, lorsque les composantes peuvent être délimitées individuellement à l'échelle du 1 : 20 000, ces unités composées sont des **associations** de sols. Le pédologue a préfère les cartographier groupées pour augmenter la vitesse de la cartographie, jugeant que cela n'affectera pas beaucoup les objectifs du relevé.

Afin de préciser leur influence sur les interprétations, les inclusions sont généralement décrites d'après leur abondance, leur degré de contraste par rapport au(x)

taxon(s) désigné(s), les propriétés qui les différencient de ces taxons et d'après leur position géographique dans l'unité cartographique (Nolin et Lamontagne 1990). Le degré de contraste d'une inclusion par rapport aux sols désignés dans la légende repose sur le nombre de propriétés différentes et sur l'amplitude de ces différences (nombre de limites de classes les séparant). Quatre types d'inclusions ont été définis dans les études détaillées des sols de la région de Montréal (Martin et Nolin 1991):

Type d'inclusion cartographique	**Nombre de descripteurs différents**	**Nombre de classes de différence**
très semblable	1	1
semblable	≤ 25 % (*v.g.* 2 sur 10)	1
dissemblable	> 25 % (*v.g.* 3 sur 10)	1
	1	2
contrastante	> 1	2
	1	> 2

Ainsi, les **variantes de série de sols** sont généralement considérées très semblables aux séries auxquelles elles sont associées car elles n'en diffèrent que par une propriété du substratum. Une unité cartographique doit présenter moins de 45 % d'inclusions très semblables, 35 % de semblables, 25 % de dissemblables et 15 % de contrastantes (adapté du G.T.S.C. 1982).

2.4 Les niveaux d'organisation spatiale de la couverture pédologique

Les couvertures pédologiques sont des continuums hétérogènes, mais les variations que l'on y observe ne sont pas toutes aléatoires car les couvertures pédologiques sont structurées (Baize et Girard 1988). En effet, comme tout objet naturel, elles se caractérisent par une organisation hiérarchique (Dijkerman 1974). Parfois les limites

de ces organisations sont abruptes et faciles à détecter; d'autres fois elles sont graduelles rendant ainsi l'individualisation de ces organisations plus difficilement perceptibles.

On reconnaît différents niveaux d'organisation de la couverture pédologique. Les niveaux inférieurs (*i.e.* particules, peds, horizons, pédons) se rapportent à ce que la plupart des pédologues désignent comme "l'individu-sol", bien que certains auteurs critiquent cette notion (*v.g.* Baize 1986). La typologie (taxonomie ou classification) a pour rôle de proposer des schémas permettant le regroupement de ces individus ou "taxons" selon différents critères (morphologie, genèse, comportement, *etc.*) afin d'en faciliter la compréhension et de permettre la généralisation et l'extension des conclusions des différentes études dont ils font l'objet.

Les niveaux supérieurs d'organisation spatiale concernent plutôt la distribution géographique de ces individus dans le paysage. Le rôle de la cartographie est précisément de mettre en évidence les structures du milieu à un niveau d'organisation donné (Bourgeon et Bertrand 1983). La typologie, qui se précise au fur et à mesure de la prospection, intervient de façon importante dans les différentes étapes de la démarche cartographique, *v.g.* pour identifier les taxons présents dans les polygones délimités, pour désigner les unités cartographiques, pour résumer la variation des propriétés pédologiques et déduire le comportement de ces unités cartographiques de sols, *etc.*.

La cartographie des sols n'est cependant pas un processus simple dont on peut proposer une démarche spécifique et uniforme sur tout le territoire (Beckett et Bie 1976). En effet, le nombre de niveaux d'organisation de la couverture pédologique et la structure de raccordement (dimension, patron d'assemblage, variation des propriétés, *etc.*) de ces niveaux les uns par rapport aux autres sont très différents d'un sol à un autre, d'un milieu à un autre et d'une région à une autre. De plus, les différents facteurs (temps, climat, relief, roche-mère, végétation, faune, homme, *etc.*) qui agissent conjointement sur le sol pour modeler son évolution ont leurs propres

structures d'organisation. L'étude du modèle de leurs actions et interactions sur la couverture pédologique devrait donc en tenir compte.

De plus, il ne faut pas perdre de vue qu'entre la réalité et la perception que nous avons de l'organisation spatiale d'une couverture pédologique, compte tenu de la faiblesse de l'échantillonnage[2], il y a place à beaucoup d'interprétation et de biais.

2.5 Les niveaux de perception et l'échelle cartographique

Que ce soit dans les inventaires écologiques (Jurdant et coll. 1977, Gérardin 1989) forestiers (Valentine 1986) ou pédologiques (Rourke 1981, Valentine et Lidstone 1985), tous les scientifiques cartographes s'entendent à reconnaître des niveaux de perception dans l'organisation des différents éléments de la nature.

Ces niveaux de perception de l'information sont à prime abord purement artificiels car ils sont déterminés par les objectifs de l'étude, *i.e.* par les utilisations envisagées de cette information. Ils correspondent ainsi à des unités physiques de gestion ou d'aménagement aux superficies diverses (*v.g.* une parcelle expérimentale, un lot, une ferme, une municipalité, un canton, un comté, un bassin versant, *etc.*). À chaque niveau correspond une gamme d'échelles cartographiques. Ces échelles sont définies par la **superficie du plus petit polygone** (SPPP) pouvant être délimitée sur une carte et qui présente un réel intérêt sur le plan des interprétations. Au Canada, la SPPP a été fixée pour des raisons de lisibilité à 0,5 cm^2 de carte (G.T.S.C. 1982). Ainsi, la SPPP est respectivement de 2 et de 12,5 ha pour les échelles de 1 : 20 000 et de 1 : 50 000.

---

2 Ainsi, une carotte extraite au moyen d'une tarière hollandaise (diamètre=3,5 cm; surface=38,5 cm^2) et une fosse traditionnelle réalisée à la pelle (diamètre=50 cm; surface=7854 cm^2) représente, pour une densité moyenne de prospection de 1 inspection par 4 ha (densité élevée pour une échelle de publication de 1 : 20 000 selon Valentine et Lidstone (1985)) un ratio échantillon/population de 1 : 10 000 000 et de 1 : 200 000 respectivement.

Le terme "**niveau d'intensité de prospection**" (NIP) a été proposé au Canada pour exprimer le concept de niveau de perception en pédologie (G.T.S.C. 1982). Comme son nom l'indique, il fait aussi référence à la densité d'observation que le pédologue doit réaliser pour respecter les normes de qualité imposées par l'échelle cartographique. Les auteurs américains (*v.g.* Rourke 1981) parlent plutôt "**d'ordre de prospection**" (*soil survey order*). On reconnaît généralement cinq niveaux d'intensité de prospection en pédologie:

Niveau d'intensité de la prospection	**Type d'étude pédologique**	**Échelles (Cline 1981)**
1	très détaillé	> 1 : 13 000
2	détaillé	1 : 13 000 à 1 : 26 000
3	semi-détaillé	1 : 26 000 à 1 : 130 000
4	de reconnaissance	1 : 130 000 à 1 : 650 000
5	généralisé	< 1 : 650 000

3. Les principes philosophiques à la base de la démarche proposée

En plus des quelques principes discutés précédemment parallèlement à la définition de certains concepts de la pédologie moderne, la méthodologie proposée reposait sur quatre principes philosophiques importants. Cette méthodologie devait ainsi:

1) permettre une gestion simple et efficace d'un projet de prospection,
2) reposer sur une approche scientifique et une base statistique,

3) respecter et intégrer les niveaux de perception et d'organisation des différentes composantes du milieu naturel
4) et respecter les normes de qualité des niveaux d'intensité de la prospection utilisés.

3.1 Permettre une gestion simple et efficace d'un projet de prospection

Qu'elle soit exécutée directement par un organisme gouvernemental ou par une entreprise privée sous la supervision technique et scientifique d'un expert du gouvernement, la prospection des sols, comme tout autre projet d'inventaire exigeant des budgets imposants, doit prendre la forme de contrat permettant le contrôle de la qualité au moyen d'indicateurs communément utilisés en gestion de projet: structure d'organisation et de responsabilité, calendrier des travaux, produits livrables, *etc.* (Jain et Raheja 1967).

La méthodologie proposée devait donc prévoir une démarche **structurée en étapes** bien définies représentant les différentes phases de réalisation d'un projet (planification, exécution, contrôle de qualité et livraison des produits) ainsi que des jalons (produits intérimaires, indicateurs de rendement et de qualité, *etc.*) permettant d'en évaluer la progression. Le rôle et les responsabilités de chaque intervenant dans le projet devaient y être clarifiés. Basée sur une structure de gestion organisationnelle, la méthodologie proposée attribue un rôle important au responsable du projet. Sa présence à la plupart des étapes du projet est essentielle à la qualité des produits (homogénéité, fiabilité, *etc.*) et au contrôle serré des opérations.

Ainsi treize étapes successives ont été identifiées pour couvrir l'ensemble des activités nécessaires à la réalisation d'une étude détaillée des sols. Chacune de ces étapes doit être effectuée dans les périodes et délais prévus pour assurer le déroulement normal du projet. Différents contrôles de qualité sont d'ailleurs proposés pour en évaluer la progression.

3.2 Reposer sur une approche scientifique et une base statistique

Pour permettre aux pédologues de fournir aux utilisateurs des informations précises et fiables dans un minimum de temps et de budget, la méthodologie proposée devait aussi reposer sur une approche scientifique et une base statistique. Toute démarche scientifique repose sur quatre étapes bien distinctes:

1) cueillette d'une quantité minimale de données de base,
2) formulation des hypothèses ou, si l'on veut, établissement du prémodèle,
3) vérification des hypothèses par des observations choisies (réseau de contrôle), et
4) définition d'une loi ou, si l'on veut, établissement du modèle.

Les étapes 2 et 3 peuvent se répéter afin d'ajuster le prémodèle proposé jusqu'à ce qu'il atteigne un niveau de fiabilité acceptable.

La pédologie et ses différents domaines d'étude (genèse, classification, interprétation, cartographie, *etc.*) n'échappent pas à cette règle (Dijkerman 1974). Car, que ce soit dans la définition d'un type de sol, ou dans la délimitation cartographique de ce sol, l'ensemble des hypothèses retenues comme valables s'exprimeront sous forme de loi. Ainsi, une carte de sol et sa légende ne sont pas uniquement qu'un inventaire des sols, mais l'expression graphique des lois naturelles d'existence et de distribution spatiale de types de sols (Boulaine 1980).

3.2.1 Hypothèse de base

L'hypothèse de base qui sous-tend toute approche scientifique de prospection des sols est qu'il existe une relation étroite entre la distribution des sols et la physionomie des terrains exprimée en termes :

1) de matériau originel (mode de dépôt, épaisseur, granulométrie, minéralogie, stratigraphie, *etc.*),
2) de formes topographiques (vues en plan comme en relief),
3) de pentes,
4) de régime hydrique,
5) d'exposition
6) et de groupement végétal.

Cette hypothèse, très souvent vérifiée (Vink 1963, Soil survey staff 1966, Goosen 1967, Tecknip 1970), repose sur une utilisation efficace de la photo-interprétation de pair avec l'interprétation des cartes topographiques dans la stratification d'un périmètre en unités cartographiques de sols.

Cette identité des coordonnées spatio-temporelles des unités géomorphologiques et pédologiques, sur la communauté de leur histoire et la presque coïncidence de leurs contours, a engendré la notion d'unité géopédologique (Baril et Mailloux 1950, Mailloux et Godbout 1954), appelée aussi unité morphologique (Gaucher 1981) et pédopaysage (Dubé 1978) traduit du terme anglais "*soilscape*" (ou *soil landscape unit*) des auteurs américains (Ruhe 1975, Buol et coll. 1980).

3.2.2 Mode opératoire d'une approche scientifique à la cartographie des sols

Deux opérations bien distinctes interviennent en cartographie des sols : la **subdivision** et l'**agglomération** (G.T.S.C. 1982). La subdivision, ou stratification, consiste à diviser la région étudiée en unités de sols selon les critères diagnostiques importants eu égard aux objectifs du relevé. Cette opération se fait généralement par interprétation des photographies aériennes, des cartes topographiques et des cartes d'inventaire des ressources naturelles.

L'agglomération (classification, typologie), consiste plutôt à regrouper conceptuellement les expositions ou les sites observés au cours de la prospection afin de créer,

dans la mesure du possible, des unités cartographiques homogènes quant aux critères retenus de classification ou d'interprétation des sols.

Le pédologue qui n'a recours qu'à cette dernière opération ne suit pas vraiment une démarche scientifique car il ne cherche pas à comprendre la loi qui explique la distribution et la variation des sols dans le paysage. C'est le cas, par exemple, lorsque la prospection est basée sur un échantillonnage systématique avec utilisation d'une grille de référence. Cette technique d'échantillonnage alloue une distribution égale de la densité de prospection à travers toute la région étudiée. De plus, elle ne permet pas de maximiser la précision de l'information tout en minimisant les coûts de la prospection (Bridges 1982).

En fait, la démarche scientifique décrite précédemment fait conjointement appel à ces deux opérations. La stratification est à la base de la deuxième étape tandis que l'agglomération est utilisée à l'étape 1 pour fournir les données de base pour la formulation des hypothèses ainsi que dans les phases successives d'ajustement du prémodèle.

3.2.3 Réseau de contrôle pour la vérification des hypothèses

La technique des transects aléatoires stratifiés dont Wang (1984) recommande l'application en pédologie, convenait parfaitement pour fournir une base statistique, *i.e.* non biaisée, comme réseau de contrôle pour la vérification des hypothèses formulées (étape 3). Cette technique d'échantillonnage, dont l'application a généralement été limitée à la vérification de la fiabilité des unités cartographiques (Arnold 1979a,b), à l'estimation de la composition taxonomique des unités cartographiques composées (Bigler et Liudahl 1984) et à la caractérisation de la variabilité des descripteurs pédologiques en fin de prospection (Macmillan 1982, Gruijter et Marsman 1985), a été peu utilisée pour la prospection des sols, particulièrement dans les périmètres où la stratification au moyen de la topographie est difficile. Cette technique devait donc être adaptée à la démarche expérimentale

suivie, en tenant compte de certaines contraintes pragmatiques dans son application sur le terrain (lotissement, route, cours d'eau, facilité d'accès, *etc.*)

3.3 Respecter et intégrer les niveaux de perception et d'organisation des différentes composantes du milieu naturel

Dans l'étude intégrée des différentes composantes du milieu, on reconnaît généralement que certaines d'entre elles sont facilement perceptibles à des niveaux supérieurs et permettent ainsi la stratification du territoire à petite échelle. Ainsi, à l'échelle continentale, on se sert de la physionomie générale de la végétation pour délimiter les zones climatiques qu'on qualifie alors de zones biogéographiques (Lemieux 1991). Par contre, la structure de la couverture pédologique au niveau taxonomique de la série, en tant que composante de l'écosystème, ne peut être perçue avec précision qu'à moyenne ou grande échelle (généralement ≥ 1 : 50 000).

En considérant qu'il est habituellement plus facile sur le plan logistique de comprendre l'organisation des éléments d'un ensemble en procédant de façon décroissante, *i.e.* du niveau supérieur au niveau inférieur, de petite à grande échelle, il convenait, dans le développement d'une nouvelle méthodologie de prospection pédologique, de procéder suivant les niveaux de perception tout en respectant les normes de qualité qui les définissent et en intégrant les différents éléments particulièrement actifs à ces niveaux (G.T.S.C. 1982).

La stratification de la plaine de Montréal en pédopaysages et unités cartographiques de sols a été rendue possible en suivant les principes émis par Dubé (1978) dans ses propositions méthodologiques au sujet du levé préliminaire des terrains. L'approche proposée par cet auteur repose en effet sur une étude intégrée du territoire suivant un niveau de perception décroissant, allant de la région physiographique au pédopaysage, aux portions de paysage, pour en arriver au pédon ou, qui plus est, à son estimation, *i.e.* l'exposition. Cette approche permettait une meilleure formulation

du modèle de distribution et de variation des sols dans le paysage, modèle autrement difficile à formuler en terrain plat.

3.4 Respecter les normes de qualité des niveaux de perception utilisés.

Afin d'assurer une précision et une fiabilité uniforme de l'information, chaque niveau de perception devrait correspondre à des échelles cartographiques, des intensités de sondage et des critères de qualité bien définis. Ce n'est malheureusement pas toujours le cas. Valentine et Lidstone (1985) ont en effet relevé une variation parfois importante de ces divers paramètres dans 53 inventaires de ressources naturelles publiés au Canada. De même, Gérardin et coll. (1990) critiquent l'emploi abusif (faiblesse de l'échantillonnage) et non justifié de l'échelle de 1 : 20 000 pour la cartographie écologique du territoire forestier (Robert et St-Laurent 1990).

Cependant, pour atteindre une précision et une fiabilité uniforme dans la cartographie de la structure d'organisation de la couverture pédologique, la densité de prospection ne dépend pas uniquement que de l'échelle cartographique retenue mais aussi de la taille de ces organisations (Bourgeon et Bertrand 1983). Tout l'art et la science déployés en inventaire des ressources naturelles consistent ainsi à rechercher cet ajustement optimal entre le niveau de perception utile et le niveau d'organisation perceptible. De là tout le problème de l'échelle et de la structure d'organisation en écologie (Levin 1992) comme en pédologie (Burrough 1983a,b). Une stratégie d'échantillonnage efficiente devrait donc permettre cet ajustement particulier de la densité d'observation selon la complexité de la couverture pédologique. De plus, elle devrait faire appel aux techniques statistiques modernes, comme les techniques géostatistiques, pour mettre en évidence les seuils qui correspondent aux différents niveaux de son organisation spatiale (Bourgeon et Bertrand 1983).

Le choix de l'échelle cartographique d'une étude pédologique doit donc tenir compte des objectifs visés par l'étude, de la complexité de la couverture pédologique ainsi que des ressources matérielles et humaines disponibles. La méthodologie utilisée

pour la prospection doit alors respecter les normes de qualité (SPPP, densité d'observation, types d'unité cartographique, précision des descripteurs pédologiques, catégorie taxonomique, *etc.*) définies pour cette échelle. Avant d'aborder la description de la méthodologie, il est donc important de présenter les normes de qualité généralement admises pour les études pédologiques semi-détaillées (NIP 3) et détaillées (NIP 2), niveaux auxquels fait appel la démarche proposée. La majorité des études pédologiques publiées au Québec appartiennent d'ailleurs à ces deux niveaux, exception faite des études décrivant les sols des stations expérimentales qui ont été réalisées au NIP 1 et les quelques études de synthèse qui font partie du NIP 5.

3.4.1 **Étude pédologique semi-détaillée (NIP 3)**

Échelle. Le NIP 3 regroupe toutes les études pédologiques dont l'échelle de la carte est comprise entre 1 : 26 000 et 1 : 130 000 (Cline 1981). Au Québec, les échelles utilisées à ce niveau sont 1 : 31 180 (*v.g.* McKibbin et Stobbe 1936), 1 : 50 000 (*v.g.* Rompré et coll. 1984), 1 : 63 360 (*v.g.* Baril et Mailloux 1950) et 1 : 126 720 (*v.g.* Cann et Lajoie 1943).

Utilité. Le but visé par les études de NIP 3 est de fournir l'information pédologique nécessaire à la planification régionale (*v.g.* région agricole, municipalité régionale de comté, grand bassin versant, parc national, *etc.*) et locale (*v.g.* bureau local de renseignement agricole, municipalité, *etc.*). Forbes et Eswaran (1981) propose les valeurs de 100 à 10 000 ha selon l'échelle utilisée comme taille moyenne des unités de planification au NIP 3. Cependant, comme la SPPP des études de NIP 3 varie de 3,4 à 85 ha, ces études permettent de délimiter des unités de sols de plus petites dimensions lorsqu'elles présentent des limitations contrastantes. La principale interprétation qui dérive de ces études concerne les possibilités d'utilisation pour l'agriculture (grande culture, pâturage, cultures spécialisées, *etc.*), la foresterie, la récréation, le développement urbain, *etc.*. Elles peuvent aussi être utilisées pour

évaluer les besoins régionaux en matière d'aménagement (*v.g.* drainage souterrain, travaux d'épierrage, *etc.*) et de conservation des ressources naturelles.

Méthode de prospection. La prospection libre a été la méthode la plus couramment utilisée à ce niveau. Entre 60 et 80 % des polygones recoivent au moins une inspection pour une densité d'observation variant de 1 inspection / 25-200 ha selon l'échelle de la carte (Valentine et Lidstone 1985). Les polygones sont principalement délimités par interprétation des photographies aériennes et des cartes topographiques publiées à moyenne échelle (*v.g.* 1 : 50 000). En milieu agricole, la localisation des limites cartographiques est directement vérifiée sur le terrain pour 10 % des polygones comparativement à 5 % en milieu forestier (Valentine et Lidstone 1985). La méthode des transects est de plus en plus utilisée dans les études contemporaines car elle permet une approche statistiquement moins biaisée que la prospection libre (Wang 1984). Le relevé est alors effectué au moyen d'un véhicule car l'intervalle moyen recommandé au NIP 3 est de 1800 m entre les transects et de 400 m à l'intérieur des transects (Valentine et Lidstone 1985).

Précision de l'information. La catégorie taxonomique généralement utilisée au NIP 3 pour désigner les composantes des unités cartographiques est la série de sols. Cependant, la variation parfois tolérée dans la définition des séries les rapproche beaucoup plus du concept de la famille ou du sous-groupe. Les unités cartographiques sont généralement composées, parfois simples. Lorsque les sols de la zone prospectée appartiennent à des séries de sols connues, les unités cartographiques sont des associations ou des complexes de phases de séries de sols (*v.g.* des caténa). Dans les zones où les sols sont homogènes sur de grandes surfaces (*v.g.* dépôts argileux), ce sont des consociations de phases de séries de sols. Lorsque les sols de la zone prospectée sont variables et n'appartiennent pas à des séries de sols connues, les unités cartographiques sont des associations de familles ou de sous-groupes (Rourke 1981). Les propriétés pédologiques des taxons et des unités sont décrites avec une précision moyenne (*v.g.* 3 classes de texture de surface, 5 classes de pente, *etc.*).

3.4.2 Étude pédologique détaillée (NIP 2)

Échelle. Le NIP 2 regroupe toutes les études pédologiques dont l'échelle de la carte est comprise entre 1 : 13 000 et 1 : 26 000 (Cline 1981). Les échelles de 1 : 20 000 (*v.g.* Lamontagne 1991) et de 1 : 25 000 (*v.g.* Marcoux 1980) ont été utilisées au Québec à ce niveau.

Utilité. Le but d'une étude détaillée des sols est de fournir l'information pédologique nécessaire à la prise de décision concernant les pratiques d'aménagement et de conservation des ressources au niveau des exploitations agricoles, des sous-bassins versants, des petits parcs provinciaux (*v.g.* le parc du Mont St-Bruno, Qc) ou municipaux, des petites réserves écologiques, *etc.* (G.T.S.C. 1982). Forbes et Eswaran (1981) fixe entre 5 et 2500 ha la taille moyenne des unités de planification au NIP 2. Par contre, la SPPP variant de 0,72 ha à 3,4 ha, les études détaillées permettent de délimiter plusieurs unités de sols à l'intérieur d'un même champ. Il est donc possible à ce niveau d'établir une gestion de toutes les opérations culturales en tenant compte du type de sols (choix des cultures, plan de rotation, drainage souterrain, irrigation, fertilisation, pratiques de conservation, *etc.*). Les principales interprétations agronomiques visées par ces études concernent les aptitudes des sols à produire une culture spécifique (*v.g.* le soya), leur vulnérabilité à divers types de dégradation et leurs besoins d'aménagement pour leur mise en valeur et leur conservation. Parmi les nombreuses interprétations non-agronomiques, notons le choix de sites pour l'enfouissement sanitaire, la construction d'édifice et d'installations récréatives.

Méthode de prospection. Au moins une inspection de sols est effectuée dans plus de 80 % des délimitations pour une densité d'observation variant de 1 inspection / 4-25 ha selon l'échelle et la complexité du terrrain (Valentine et Lidstone 1985). Les polygones sont délimités par interprétation des photographies aériennes et des cartes topographiques publiées à grande échelle (*v.g.* 1 : 20 000). Les limites cartographiques sont vérifiées ponctuellement en moyenne pour 25 % des polygones en milieu agricole comparativement à 15 % en milieu forestier (Valentine et Lidstone 1985).

La méthode de prospection généralement utilisée à ce niveau est la méthode des transects (Rourke 1981). Le relevé est effectué la plupart du temps à pied car l'espacement moyen recommandé est de 600 m entre les transects et de 200 m à l'intérieur des transects (Valentine et Lidstone 1985). L'échantillonnage systématique avec grille de référence peut aussi être utilisé dans les zones où la photo-interprétation est peu efficace et lorsque le relevé est effectué par du personnel peu expérimenté (Burrough et coll. 1971).

Précision de l'information. La série de sols est la catégorie du système taxonomique le plus souvent utilisé au NIP 2. Les variantes de série de sols peuvent aussi servir à désigner les unités cartographiques. Les unités sont généralement simples, parfois composées. Ce sont des consociations ou des complexes de phases de série de sols. Les associations de phases de séries de sols ne sont que rarement utilisées. Les propriétés pédologiques des taxons et des unités sont décrites avec une précision élevée (*v.g.* 5 classes de texture de surface, 10 classes de pente, *etc.*).

4. Étapes proposées pour réaliser une étude pédologique détaillée (NIP 2)

Treize (13) étapes sont proposées pour couvrir toutes les activités inhérentes à la confection d'une carte pédologique détaillée, de la signature du contrat, en passant par les travaux de terrain jusqu'à la livraison aux différents utilisateurs de la carte et du rapport finals (Tableau 1).

4.1 ÉTAPE 1 : Mise au point des objectifs généraux et spécifiques du levé pédologique

Les objectifs généraux sont habituellement déterminés par le ou les demandeurs et sont inscrits dans le contrat d'entente établissant le mandat. Ceux du projet de prospection pédologique de la plaine de Montréal ont été définis par le comité de coordination technique qui a précédé la création de l'Institut de recherche pédologique du Québec (Ouellet 1977).

Tableau 1 **Schéma présentant les treize étapes proposées pour la réalisation d'un projet de prospection des sols à grande échelle (1 : 20 000)**

<table>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">Planification du projet</td><td>Choix des objectifs</td><td>Étape 1
(bureau)</td></tr>
<tr><td>Ressources humaines et matérielles</td><td>Étape 2
(bureau)</td></tr>
<tr><td rowspan="10">Exécution du projet</td><td rowspan="3">Étude préliminaire semi-détaillée 1 : 50 000</td><td>Préparation</td><td>Étape 3
(bureau)</td></tr>
<tr><td>Prospection
(phase 10%)</td><td>Étape 4
(terrain)</td></tr>
<tr><td>Rédaction</td><td>Étape 6
(bureau)</td></tr>
<tr><td rowspan="7">Étude détaillée 1 : 20 000</td><td>Préparation</td><td>Étape 6
(bureau)</td></tr>
<tr><td rowspan="2">(phase 25%)
Prospection
(phase 25-100%)</td><td>Étape 7
(terrain)</td></tr>
<tr><td>Étape 8
(terrain)</td></tr>
<tr><td>Corrélation et vérification</td><td>Étape 9
(terrain)</td></tr>
<tr><td>Échantillonnage</td><td>Étape 10
(terrain)</td></tr>
<tr><td>Compilation des données et de la carte finale</td><td>Étape 11
(bureau)</td></tr>
<tr><td>Rédaction du rapport final</td><td>Étape 12
(bureau)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Livraison des produits</td><td>Étape 13</td></tr>
</table>

Les objectifs spécifiques d'un projet dépendent des besoins particuliers des utilisateurs. Ils ne peuvent être établis que par contact direct avec ceux-ci (réunion, atelier) ou au moyen d'un questionnaire d'enquête (*v.g.* Valentine et coll. 1981, Cossette et Grenon 1986). En plus d'identifier et de localiser les utilisateurs et leurs besoins spécifiques, ces réunions ou ces questionnaires cherchent à déterminer les descripteurs pédologiques et les classes les plus pertinents à retenir dans la définition et la délimitation des sols figurant sur la carte eu égard aux objectifs identifiés, *i.e.* aux interprétations que l'on entend tirer de l'information recueillie. Ces objectifs spécifiques doivent évidemment être en accord avec les objectifs généraux et correspondre aux possibilités (échelle de publication, coût, *etc.*) du levé pédologique. Cette étape doit être effectuée au moins un an avant le début de la première saison de terrain qui a normalement lieu du début mai à la fin de septembre.

4.2 ÉTAPE 2 : Mise au point des ressources matérielles et humaines disponibles pour la réalisation des objectifs

Il s'agit du contrat que le maître d'oeuvre, *i.e.* le responsable de l'ensemble des travaux d'inventaire (le représentant du gouvernement dans le cas d'une soumission par une entreprise privée) et le responsable du projet établissent afin d'effectuer une allocation rationnelle des ressources disponibles selon la priorité des différents projets en cours et les délais d'exécution (date de livraison du produit).

Les formules 1 et 2 de prospection pédologique (plan de projet et formulaire de corrélation) proposées par Nowland (1981) pour la gestion des projets de cartographie des sols réalisés par les équipes pédologiques d'Agriculture Canada se prêtent bien à l'encadrement de la démarche proposée. Mises à jour depuis, ces deux formules sont présentées dans le manuel canadien de prospections pédologiques (Coen 1987). D'autres formules similaires peuvent aussi être utilisées à cette fin. Ces formules représentent les documents produits à cette étape. Idéalement, ce contrat devrait être élaboré de 6 mois à 1 an avant le début de la première saison de terrain.

4.3 ÉTAPE 3 : Étude préliminaire des documents existants

Cette étape est effectuée au bureau par le responsable du projet dans les six mois précédant la première saison de terrain. L'objectif est d'élaborer un prémodèle concernant :

1) la nature des sols (liste et description des taxons potentiels) et
2) la distribution des sols dans le paysage à une échelle semi-détaillée (1 : 50 000).

À cette échelle, l'unité cartographique de base est le pédopaysage. Il peut parfois s'agir d'unités simples (consociations) dans les aires très homogènes (*v.g.* dans les matériaux marins profonds). Mais généralement, ce sont des unités composées de plusieurs taxons (séries, variantes, non-sols) habituellement en association géographique ou en complexe. Les documents consultés servant à la formulation des hypothèses sont de deux types :

1) bibliographique (carte et rapport pédologique, géologique, de dépôts meubles, d'inventaire forestier; documents de données statistiques sur l'agriculture, le climat, les cours d'eau, *etc.*) et
2) cartographique (cartes topographiques (1 : 50 000 et 1 : 250 000), photographies aériennes (1 : 36 000 à 1 : 50 000 selon la disponibilité) et images satellitaires (*v.g.* Landsat, TM, SPOT)).

Les documents produits à cette étape sont :

1) un résumé succinct de tous les documents consultés (bibliographie),
2) une légende préliminaire des taxons (séries de sols, variantes et non-sols),
3) une ou plusieurs descriptions morphologiques des taxons potentiels provenant de relevés antérieurs ou limitrophes,

4) une délimitation du territoire en unités de pédopaysage par interprétation conjointe des cartes topographiques (voir Encadré 1) et des photographies aériennes, et
5) une liste des unités cartographiques potentielles.

Cette étape inclut aussi l'établissement du réseau de contrôle qui guidera la démarche de l'étape suivante et qui comprend :

1) la localisation de coupes naturelles ou anthropiques (fossés, gravière, sablière, carrière, *etc.*),
2) la distribution de quelques points d'observations au centre des unités ou à toute autre position du paysage jugée représentative, et
3) la sélection des transects 10 % (voir Encadré 2).

4.4 ÉTAPE 4 : Tournée de reconnaissance de la zone à étudier

Cette étape a pour but de vérifier le prémodèle établi à l'étape précédente au moyen d'un réseau de contrôle au champ et d'accumuler les données minimales pour formuler les hypothèses du modèle détaillé. Le responsable du projet, accompagné d'un assistant, couvrira donc tout le territoire à étudier durant la saison de terrain.

L'étape 4 comporte cinq opérations qui peuvent parfois être intégrées dans le cheminement, soit :

1) la description morphologique des taxons (séries et variantes),
2) la description des unités cartographiques (pédopaysages),
3) la cartographie détaillée (1 : 20 000) d'aires-types,
4) l'échantillonnage de profils représentatifs des taxons, et
5) la corrélation régionale.

ENCADRÉ 1
Interprétation des cartes topographiques

L'interprétation des cartes topographiques, telle que préconisée par Dubé (1978) dans sa méthodologie de levé préliminaire des terrains, fournit au pédologue responsable du projet des éléments de raisonnement pour identifier les grands ensembles physiographiques, leurs éléments constituants ainsi que les processus et séquences de mise en place des dépôts. Une première¶ interprétation est réalisée sur les cartes topographiques publiées au 1 : 50 000. D'abord, les courbes de niveau sont mises en évidence (*v.g.* en utilisant différentes couleurs, formes ou largeurs de trait). Cette technique permet ainsi de repérer les chenaux primaires et secondaires des cours d'eau actuels et anciens (*v.g.* les chenaux anastomosés, de fusion glaciaire, *etc.*), les terrasses et bourrelets alluviaux, les courants de dérive littorale, les deltas, les limites potentielles des différentes phases de régression marine, les zones d'inondation, *etc.* comme le souligne Curtis et coll. (1965). Une analyse approfondie de ces courbes de niveau et des autres éléments thématiques de la carte (boisé, gravière, forme des cours d'eau, *etc.*) permet ensuite de détecter des limites cartographiques potentielles des pédopaysages (*v.g.* rupture de pente, point d'inflexion des courbes, *etc.*). Ce document permet aussi de calculer les pentes des ensembles ainsi délimités (Sneddon et coll. 1972):

$$\text{Pente} = 100\,(\mathbf{n}\,\mathbf{i} \,/\, \mathbf{d}) \qquad (1)$$

où **n** est le nombre de courbes d'altitude, **i** l'intervalle des courbes d'altitude (*v.g.* 7,62 m au 1 : 50 000) et **d** la distance linéaire sur le terrain que l'on peut déduire à partir de la carte connaissant son échelle (*v.g.* au 1 : 50 000, 1 cm sur la carte est égal à 500 m sur le terrain).

¶ Les grands ensembles topographiques peuvent cependant être dégagées auparavant sur les cartes topographiques publiées au 1 : 250 000. Les mêmes techniques peuvent aussi être appliquées à l'étape 6 pour effectuer une interprétation plus détaillée de la topgraphie à partir des cartes topographiques 1 : 20 000, lorque celles-ci sont disponibles. Le traitement de ces différentes sources d'information à l'intérieur d'un système d'information géographique (S.I.G.) devraient en faciliter énormément l'interprétation.

ENCADRÉ 2
Sélection des transects 10 %

D'abord, il faut déterminer la densité idéale théorique (D.I.T.) à respecter pour l'ensemble du projet. Cette valeur fait partie des normes à établir dans les étapes de planification du projet (Étapes 1 et 2). Dans les premiers projets de cartographie détaillée des sols de la plaine de Montréal (*v.g.* dans les comtés de Richelieu, de Verchères et de Chambly), la D.I.T. a été fixée à une inspection par cm^2 de carte à l'échelle de publication telle que recommandée dans le manuel canadien de prospections pédologiques (Coen 1987). Ceci représente une densité de 1 inspection / 4 hectares à l'échelle de 1 : 20 000. Afin de réduire les coûts de la prospection et de se rapprocher de la densité couramment allouée dans la plupart des études d'inventaire réalisées au Canada (Valentine et Lidstone 1985), la D.I.T. a été diminuée à 1 inspection / 6 hectares (1,5 cm^2 de carte à l'échelle de 1 : 20 000) dans tous les projets réalisés après 1986 (*v.g.* dans les comtés de Rouville et de Laprairie).

La seconde opération consiste à déterminer la position des transects 10 % de façon à ce qu'ils traversent l'ensemble des paysages délimités le plus perpendiculairement possible à l'orientation des dépôts (Wang 1984), orientation qui correspond dans la plupart des fermes de la province de Québec à celle du lotissement. Comme leur nom l'indique, les transects 10 % visent à couvrir approximativement 10 % du nombre total de sites à examiner pour l'ensemble du projet. Ce nombre est établi à partir de la D.I.T., la superficie totale du territoire à cartographier étant connue.

Par exemple, il y avait environ 24 000 ha à cartographier dans le comté de Chambly, donc théoriquement 6000 sites à observer au total pour une D.I.T. de 1 inspection / 4 ha (Nolin 1985a). Ainsi, les transects 10 % représentaient 600 sites, soit une densité de 1 inspection / 40 ha. Si la D.I.T. avait été fixée à 1 inspection / 6 ha, le nombre total de sites à observer aurait été réduit à 4000, dont 400 dans les transects 10 %. Le tableau 2 précise la densité de prospection (exprimée en cm^2 de carte par inspection) obtenue après la réalisation des transects 10 % selon les échelles considérées pour la présentation des résultats de l'étude semi-détaillée, permettant ainsi de déterminer l'échelle idéale de publication de la carte préliminaire, soit 1 : 63 360. Cependant, pour des raisons pratiques, cette carte est généralement publiée à l'échelle de 1 : 50 000. Ainsi, pour respecter une distribution proportionnelle de ces sites à travers tous les pédopaysages identifiés dans le territoire, le responsable du projet de cartographie détaillée des sols du comté de Chambly a alors cherché à localiser systématiquement sur les photos aériennes publiées à l'échelle de 1 : 40 000 environ un transect 10 % à tous les 2 km, l'intervalle d'observations à l'intérieur des transects ayant été fixé à 200 m. Le tableau 3 présente d'autres stratégies selon la complexité présumée du pédopaysage étudiée et la D.I.T. retenue.

À l'instar des niveaux de corrélation reconnus dans les formules de prospection pédologique (Nowland 1981), cette approche permet au responsable du projet :

1) d'optimiser l'allocation des inspections à travers le territoire selon la complexité des pédopaysages et
2) d'associer un indice de progression aux différentes phases de prospection identifiées (*i.e.* phases 10 %, 25 % et 25-100 %).

Tableau 2 Densité de prospection (*cm² de carte / inspection*) obtenue suite aux transects 10 % selon l'échelle de publication et la densité idéale théorique retenues

Échelle de publication	**Superficie couverte par 1 cm² de carte (*ha*)**	**Densité de prospection obtenue suite aux transects 10 % (*cm² de carte / inspection*)**	
		Densité idéale théorique : 1 inspection / 4 ha	Densité idéale théorique : 1 inspection / 6 ha
1 : 20 000	4	10,0	15,0
1 : 40 000	≈13	3,1	4,6
1 : 40 000	16	2,5	3,8
1 : 50 000	25	1,6	2,4
1 : 63 360	≈40	1,0	1,5

Tableau 3 Intervalle moyen d'observations à respecter selon l'espacement entre les transects 10 % et la densité idéale théorique retenus

Espacement entre les transects		**Intervalle d'observations à l'intérieur des transects**			
		Densité idéale théorique : 1 inspection / 4 ha		Densité idéale théorique : 1 inspection / 6 ha	
Terrain (*km*)	Photo 1 : 40 000 (*cm*)	Terrain (*m*)	Photo 1 : 40 000 (*mm*)	Terrain (*m*)	Photo 1 : 40 000 (*mm*)
6	15,0	67	1,7	100	2,5
5	12,5	80	2,0	120	3,0
4	10,0	100	2,5	150	3,8
3	7,5	133	3,3	200	5,0
2	5,0	200	5,0	300	7,5

4.4.1 Description morphologique des taxons

Une première caractérisation des taxons peut être effectuée rapidement en sélectionnant de façon subjective des sites représentatifs au centre des pédopaysages ou des portions de pédopaysage afin d'éviter les effets de bordure ou d'interface (Wang 1982). Elle peut aussi être faite à partir des coupes anthropiques localisées à l'étape précédente ou à partir de travaux d'excavation en cours (échantillonnage fortuit). Ces coupes, si elles sont situées dans des positions représentatives du pédopaysage étudié, permettent au pédologue de visualiser rapidement, sans trop d'efforts, la variabilité à l'échelle du pédon et du polypédon. Cependant elles peuvent présenter des conditions édaphiques (*v.g.* de drainage) non caractéristiques. Elles ne sont utiles que pour évaluer la variabilité des descripteurs peu influencés par les conditions de station (*v.g.* la granulométrie, la pétrographie, l'épaisseur des dépôts et des horizons, *etc.*).

4.4.2 Description des pédopaysages

La description des pédons représentatifs est enregistrée sur la fiche détaillée de description des sols au champ du système SISCan (Comité d'experts sur la prospection pédologique d'Agriculture Canada 1983) ou sur sa version condensée, la fiche-SISCan semi-détaillée. Sur ces fiches, tous les horizons ou sous-horizons (maximum de 12) d'un profil peuvent être décrits.

L'étude de la distribution des sols dans les pédopaysages ainsi que de la variabilité des descripteurs pédologiques à l'intérieur des taxons et des pédopaysages est réalisée au moyen des transects aléatoires (transects 10 %) sélectionnés à l'étape 3.

La description des profils est alors effectuée sur une fiche appelée "fiche-transect" (Nolin 1983a) et conçue pour tout type de prospection systématique (transect, grille, *etc.*). La description des profils sur cette fiche est réduite uniquement aux horizons diagnostiques (O, A, B et C) ainsi qu'aux descripteurs impliqués dans le diagnostic

de classification, de délimitation ou d'interprétation des sols (Figure 1). Cette concision dans la prise des données fait partie de la stratégie visant à maximiser la qualité du produit tout en minimisant les coûts de la prospection. De plus, afin de réduire les délais et les coûts reliés à la saisie de l'information dans la base de données, Cossette et coll. (1986) ont développé un programme de saisie des données pédologiques directement sur le terrain à l'aide d'un micro-ordinateur portatif.

Ces deux premières opérations (4.4.1 et 4.4.2) sont généralement effectuées en des temps différents. Elles peuvent cependant être intégrées. Il suffit alors de décrire la $x^{ième}$ exposition du transect de façon détaillée sur la fiche-SISCan et de la résumer sur la fiche-transect. Sur le plan statistique, cette approche est préférable à la précédente car alors toutes les expositions effectuées sur le territoire proviennent du même mode d'échantillonnage, ce qui élimine le biais d'un échantillonnage subjectif dans la compilation finale des données.

Cependant, comparativement à l'échantillonnage fortuit d'une large coupe de fossé, cette approche basée sur un profil de sol de petite dimension (50 x 50 cm ou moins) ne permet pas de caractériser la variabilité à l'intérieur du pédon. Le pédologue demeure ainsi dans l'incertitude quant à la source de la variation des descripteurs pédologiques enregistrée à l'intérieur du pédopaysage. L'échantillonnage par degré (Nolin et Caillier 1992c) peut toutefois être utilisé pour faire une estimation non biaisée de la variabilité à l'intérieur du pédon. La $x^{ième}$ exposition d'un transect peut en effet être subdivisée en *n* sous-échantillons (*n* = 5 à 25) au moyen d'une grille de référence de 1 à 10 m^2 (superficies minimale et maximale d'un pédon (Soil survey staff 1975)) semblable à celles illustrées à la figure 2. Le choix de la forme de la grille (carrée ou rectangulaire), de sa superficie, de l'intervalle d'échantillonnage et de la taille de l'échantillon dépendra de la variabilité du taxon étudié. Les données recueillies sont alors codées sur une fiche-transect.

Agriculture Canada

INSTITUT DE RECHERCHES PÉDOLOGIQUES DU QUÉBEC

FEUILLE QUOTIDIENNE DE TERRAIN
FICHE - TRANSECT

JO MO

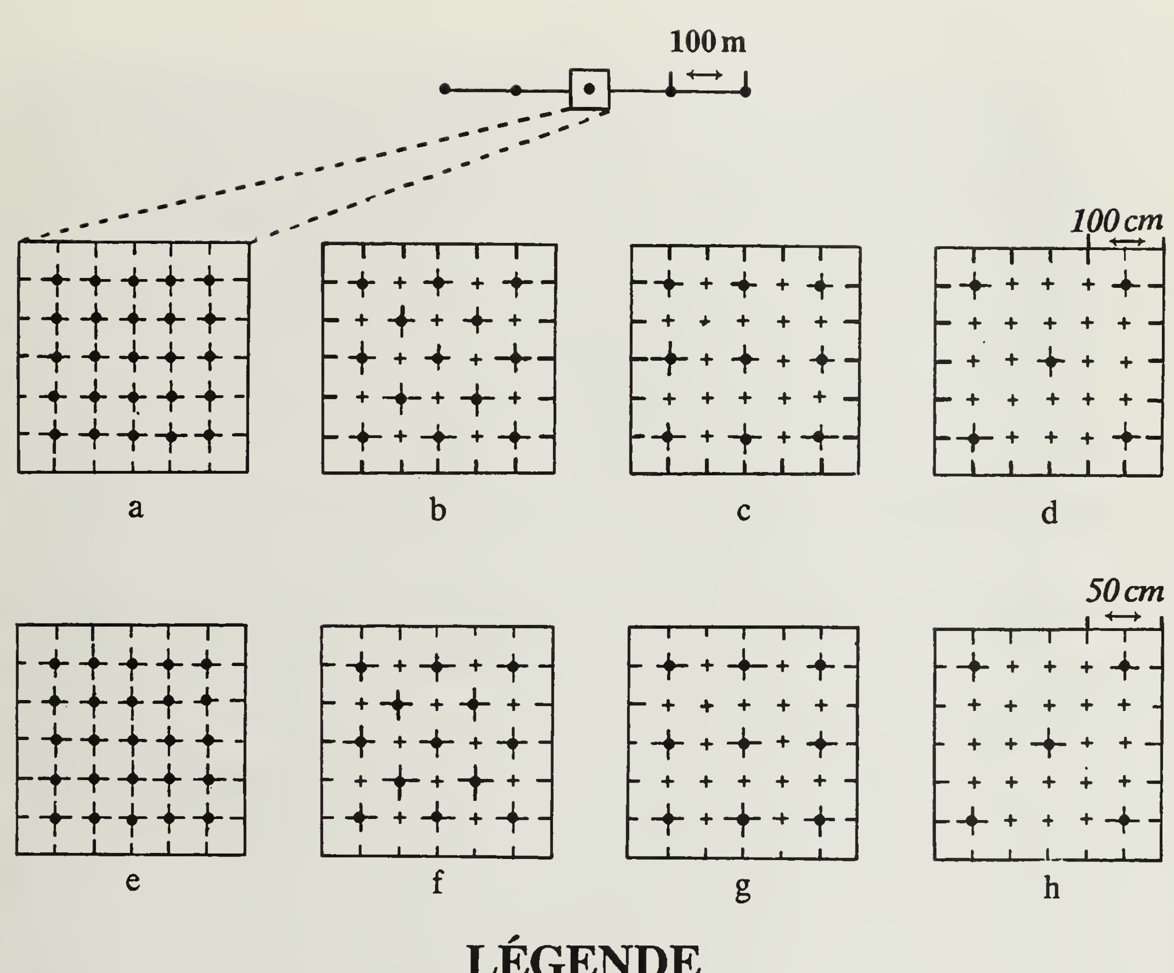
N° DE LA PHOTO

IDENTIFICATION				UNITÉ CARTOGRAPHIQUE			PHASES DU SOL MINÉRAL									PROFONDEUR (m)											MATÉRIAU ORIGINEL																	HORIZON O		HORIZON A · COUCHE 2			
																COUCHE INDURÉE		LITS									MATÉRIAU 1						MATÉRIAU 2						MATÉRIAU 3									TEXTURE	
Initiales de l'échantillonneur	N° de transect	N° de site	Année	N° du comté	N° de la délimitation	Désignation de l'unité	Code de série	Variantes	Classe de pente	Type de pente	Pierrosité	Roccosité	Érosion hydrique	Érosion éolienne	Drainage	Description	Profondeur	Abondance	Description	Profondeur du lit	de la nappe phréatique	Profondeur des racines	Profondeur du solum	Profondeur du gley	Profondeur des carbonates	Profondeur ou roc	Texture 1	Texture 2	Fragments: Abondance	Fragments: Dimension	Fragments: Lithologie	Profondeur (m)	Texture 1	Texture 2	Fragments: Abondance	Fragments: Dimension	Fragments: Lithologie	Profondeur	Texture 1	Texture 2	Fragments: Abondance	Fragments: Dimension	Fragments: Lithologie	Code de désignation	Épaisseur (cm)	Code de désignation	Épaisseur (cm)	Code de texture	Qualificatif
1 2 3	4 5 6	7 8	9 10	11 12	13 14 15 16	17 18 19 20 21	22 23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33 34	35	36	37 38	39 40	41 42	43 44	45 46	47 48	49 50	51	52	53	54	55	56 57	58	59	60	61	62	63 64	65	66	67	68	69	70 71	72 73	74 75	76 77	78 79	80

	HORIZON A / COUCHE 2												HORIZON B / COUCHE 3																									HORIZON C / COUCHE 4																		
	ÉPAISSEUR		COULEUR			Structure										TEXTURE				COULEUR			MARBRURES (TACHES)						Stucture										TEXTURE				COULEUR			MARBRURES (TACHES)										
N° du site	Ah-Ahe (cm)	Ae (cm)	TEINTE	VALEUR	CHROMA	SOUS-TYPE	CLASSE	GRADE	Consistance sec	Consistance humide	Degré d'efferv.	Fragments grossiers	Code de désignation	Profondeur (m)	Épaisseur (cm)	Code de texture 1	Qualificatifs	Code de texture 2	Fragments grossiers	TEINTE	VALEUR	CHROMA	TEINTE	VALEUR	CHOMA	Abondance	Dimension	Contraste	Modificateur	SOUS-TYPE	CLASSE	GRADE	Consistance sec	Consistance humide	Concr. Nodul. Déject.	Tache-manganèse	Degré d'efferv.	Code de désignation	Code de texture 1	Qualificatif	Code de texture 2	Fragments grossiers	TEINTE	VALEUR	CHROMA	TEINTE	VALEUR	CHROMA	Abondance	Dimension	Contraste	Consitance humide	Consistance trempé	Concr. Nodul. Déject.	Tache manganèse	Degré d'efferv.
	1 2	3 4	5 6	7 8	9 10	11	12	13	14	15	16	17	18 19	20	21 22	23 24	25	26 27	28	29 30	31 32	33 34	35 36	37 38	39 40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53 54	55 56	57	58 59	60	61 62	63 64	65 66	67 68	69 70	71 72	73	74	75	76	77	78	79	80

M.C. Nolin/1632

Figure 1 Fiche-transect utilisée pour le codage de l'information pédologique recueillie par transect ou par grille.



LÉGENDE

Échelle	Surface *m²*	Figure	Plan d'échantillonnage¶	Taille *n*	Intervalle *(cm)*
1:100	9	*2a* *2b* *2c* *2d*	S.G.R. S.Q. S.G.R. S.Q.	25 13 9 5	50 70 et 100 100 140 et 200
1:50	2,25	*2e* *2f* *2g* *2h*	S.G.R. S.Q. S.G.R. S.Q.	25 13 9 5	25 35 et 50 50 70 et 100

¶ S.G.R. - Échantillonnage systématique avec grille de référence;
S.Q. - Échantillonnage systématique en quinconce (Nolin et Caillier 1992c).

Figure 2. Exemples de plans d'échantillonnage proposés pour caractériser la variabilité des descripteurs pédologiques à l'intérieur du pédon.

4.4.3 Cartographie détaillée d'aires-types

La formulation des hypothèses concernant la structure de la couverture pédologique à l'échelle du 1 : 20 000 (Étape 6), *i.e.* la distribution et la variation des sols dans le paysage, l'établissement de la légende des unités cartographiques du levé détaillé et l'estimation de la densité optimale de prospection à l'intérieur de chaque pédopaysage, peut exiger une étude plus approfondie sur le terrain dans les zones où les pédopaysages sont peu connus. L'échantillonnage par degré fournit alors une approche rationnelle et pragmatique qui permet de répondre à cet objectif.

Cette technique consiste à sélectionner aléatoirement des aires-types (1 km^2), dans lesquelles on conduit un relevé systématique détaillé : trois à cinq transects parallèles espacés régulièrement (200 à 400 m) dans lesquels les observations sont effectués selon un intervalle régulier variant de 50 à 100 m selon la complexité présumée de l'organisation des sols dans le paysage. Une trop grande densité est préférable à une densité trop faible avec cette technique pour obtenir une estimation fiable de la densité optimale de prospection. Deux méthodes de calcul peuvent alors être utilisées : l'approche géostatistique (Encadré 3) basée sur la dépendance spatiale des échantillons et la méthode de dos Santos (1978) qui, tenant compte du temps requis en fonction de la variabilité obtenue, cherche à optimiser l'efficience de la prospection (Encadré 4). Cette opération est réalisée à la toute fin de la saison de terrain, une fois que la plupart des contours des pédopaysages ont été vérifiés. On utilise alors la fiche-transect pour l'enregistrement des données.

4.4.4 Échantillonnage de profils représentatifs des taxons

De même, à la fin de la saison, tous les taxons identifiés, ou tout au moins, ceux n'ayant jamais été caractérisés auparavant, sont échantillonnés pour être analysés en laboratoire (échantillonnage subjectif). La description des profils est alors effectuée sur une fiche-SISCan détaillée.

ENCADRÉ 3
Calcul de la densité optimale de prospection

I. Approche géostatistique

Les techniques géostatistiques utilisées pour l'étude de la variabilité spatiale des descripteurs pédologiques fournissent une approche mathématique non biaisée pour l'estimation de la densité optimale de prospection à l'intérieur d'un pédopaysage ou d'une portion de pédopaysage. Une des techniques couramment utilisées est la fonction d'autocorrélation. Le calcul de cette fonction permet de construire point par point un autocorrélogramme et d'en déduire une longueur d'autocorrélation, ou zone d'influence, définie comme la distance au-delà de laquelle les observations sont spatialement indépendantes les unes des autres (Vauclin 1982).

Une autre façon d'analyser la dépendance spatiale ou temporelle des observations est d'étudier le semi-variogramme, graphique présentant la variation de la semi-variance $\gamma(h)$ en fonction de l'intervalle d'échantillonnage (h) soit :

$$\gamma(h) = 1/2 \text{ var } \{Z(x) - Z(x+h)\} \quad \text{(Webster 1985)} \qquad (2)$$

Comme on peut le constater à la figure 3, lorsque les échantillons d'un territoire sont reliés dans l'espace, la courbe des semi-variogrammes prend souvent une allure linéaire dans sa phase initiale pour finalement atteindre un plateau que l'on appelle "palier" où $\gamma(h)$ reste constant avec l'évolution de h. La valeur de h où $\gamma(h)$ atteint le palier est appelée "portée" (a). Comme pour la longueur d'autocorrélation définie précédemment, la portée s'avère un indice très utile pour fixer l'intervalle optimal d'échantillonnage, puisque des échantillons prélevés à un intervalle inférieur à la portée sont spatialement dépendants. De plus, la valeur de $\gamma(h)$ où $h=0$ (C_0), que l'on désigne sous le nom de "constante de pépite" (*nugget variance*) représente à la fois l'erreur expérimentale et la variabilité présente à une distance inférieure à l'intervalle d'échantillonnage, donc non prise en considération par le dispositif d'échantillonnage. Si la valeur de C_0 est relativement élevée par rapport à la valeur de $\gamma(h)$ lorsqu'il atteint le plateau ($C_0 + C$) où C est la variance structurale (*structural variance*), il convient d'utiliser un intervalle d'échantillonnage plus rapproché ou d'améliorer la méthode de mesure pour diminuer l'erreur expérimentale.

Les valeurs expérimentales sont habituellement ajustées à un modèle théorique de semi-variogramme. Les modèles à palier (*i.e.* où $\gamma(h) = C_0 + C$ lorsque $h > a$) les plus couramment utilisés en pédologie sont (Webster 1985) :

le modèle linéaire : $\gamma(h) = C_0 + C\,(h/a)$, (3)
le modèle sphérique : $\gamma(h) = C_0 + C\,[1{,}5(h/a) - 0{,}5(h/a)^3]$, (4)
et le modèle exponentiel : $\gamma(h) = C_0 + C\,[1 - \exp(-h/r)]$ (5)

où la portée $(a) \approx 3r$. Le tableau 4 présente les données de quelques modèles théoriques à palier appliqués aux descripteurs diagnostiques de quelques pédopaysages et unités cartographiques du comté de Richelieu (Nolin et Lamontagne 1990).

Tableau 4 Paramètres caractéristiques de la variabilité spatiale des descripteurs pédologiques de quelques pédopaysages et unités cartographiques du comté de Richelieu (Nolin et Lamontagne 1990)

District Pédopaysage	Unité	Descripteur	Moyenne m	Variance s^2	CV	Modèle théorique à palier	Constante de pépite C_0	Palier C_0+C	Ratio C_0/C_0+C	Portée (m) a	R^2
District 21 Vallée fluviale du Proto-Saint-Laurent **Pédopaysage 212** Hauts-fonds recouverts d'argile marine remaniée	**PV5**	Sable (%)	9,8	40,4	65	Linéaire	26,9	48,9	0,55	425	0,58
		Limon (%)	38,8	18,5	11	Linéaire	9,3	21,7	0,43	394	0,99
		Argile (%)	51,4	69,7	16	Linéaire	30,4	72,3	0,42	400	0,89
		C organique (%)	2,52	0,34	23	Sphérique	0,001	0,407	≈ 0	219	0,45
District 22 Replats sableux du delta de Lanoraie **Pédopaysage 221** Terrasses sableuses en forme d'îlots	**AC1**	Al-pyro	0,89	0,23	54	Sphérique	0,037	0,284	0,13	201	0,37
		Fe-pyro	0,22	0,029	77	Linéaire	0,008	0,043	0,19	479	0,99
		Al+Fe-pyro	1,11	0,36	54	Sphérique	0,001	0,450	≈ 0	228	0,68
		Corg/Fe-pyro	35,4	1149	96	Sphérique	462	1224	0,38	218	0,69
District 23 Bassin du Proto-lac-Saint-Pierre **Pédopaysage 231** Zone littorale	**FY2**	Sable très fin (%)	11,3	14,1	33	Linéaire	0,01	30,8	≈ 0	588	0,88
		Sable (%)	62,6	107,5	17	Linéaire	27,0	192,0	0,14	521	0,89
		Limon (%)	23,4	41,1	27	Linéaire	17,7	80,8	0,22	700	0,73
		Argile (%)	14,0	19,1	31	Linéaire	0,7	31,0	0,02	391	0,89
		C organique (%)	2,44	0,35	24	Sphérique	0,017	0,510	0,09	332	0,70
District 23 Bassin du Proto-lac-Saint-Pierre **Pédopaysage 232** Zone de vasières	**AI3**	Sable (%)	45,4	30,7	12	Linéaire	10,6	36,6	0,29	300	0,48
		Limon (%)	40,4	23,0	12	Linéaire	3,9	31,3	0,12	300	0,80
		Argile (%)	14,2	5,3	16	Linéaire	0,8	8,1	0,10	501	0,87
		C organique (%)	2,48	1,30	46	Linéaire	0,28	1,48	0,19	315	0,77
District 25 Replats argileux de l'estuaire Post-Champlain **Pédopaysage 251** Chenaux d'érosion tapissés d'argile marine	**UB4**	Profondeur des carbonates (cm)	43	557	55	Linéaire	232	722	0,32	600	0,54
		Sable (%)	35,6	139,2	33	Linéaire	90,1	170,4	0,53	300	0,42
		Limon (%)	22,8	11,0	15	Exponentiel	0,01	5,08	≈ 0	165	0,74
		Argile (%)	41,7	131,3	27	Linéaire	91,7	168,3	0,54	300	0,37
		C organique(%)	2,22	0,71	38	Sphérique	0,10	0,85	0,12	200	0,80

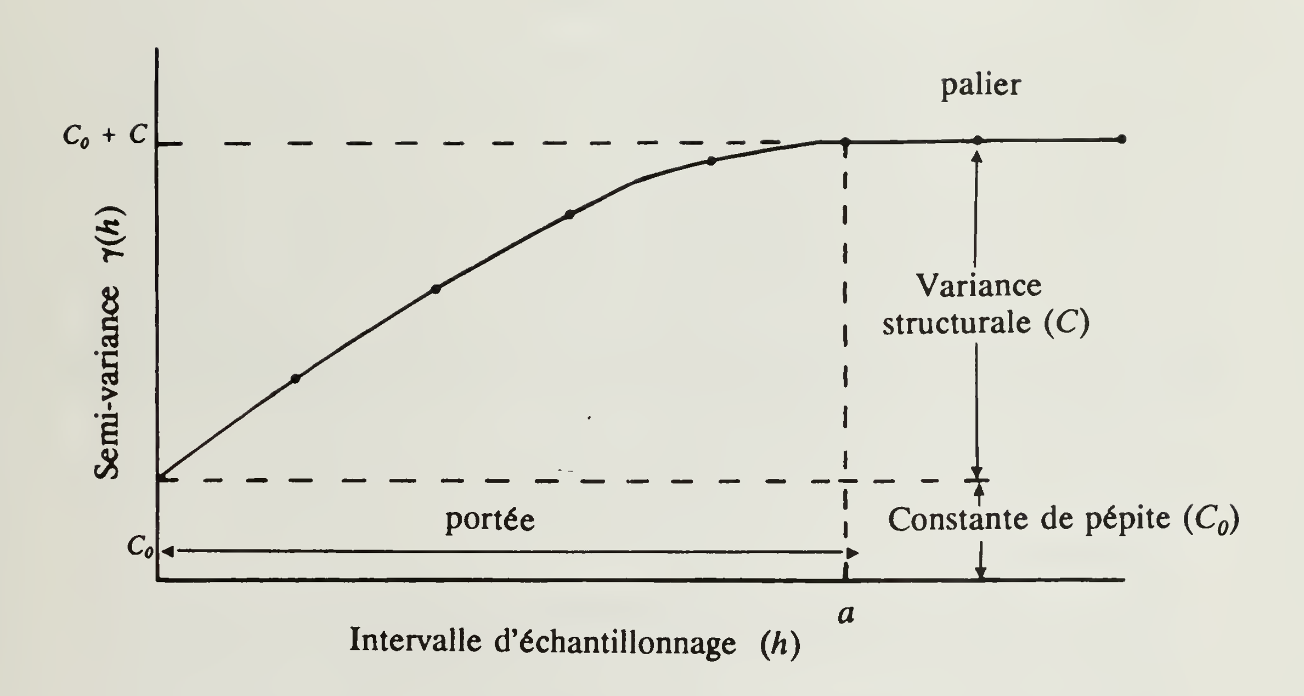


Figure 3 Courbe théorique d'un semi-variogramme illustrant la position du palier ($C_0 + C$) et de la portée (a).

ENCADRÉ 4
Calcul de la densité optimale de prospection

II. Approche de dos Santos (1978)

L'approche de dos Santos (1978) cherche à optimiser l'efficience de la prospection en tenant compte de la relation "coût - variance des descripteurs pédologiques", le coût étant évalué en terme de temps requis pour décrire chaque site et pour se déplacer d'un site à l'autre à l'intérieur du transect. Drolet et coll. (1982) ont démontré l'application et les limites de cette approche dans le calcul de l'intervalle optimal d'observation à l'intérieur d'un transect pour quelques pédopaysages identifiés lors de l'étude préliminaire semi-détaillée du comté de Richelieu (Nolin 1982). Comme on peut le constater au tableau 5 tiré des travaux de Drolet et coll. (1982), la variabilité perçue à un intervalle rapproché (*v.g.* 50 m) est parfois supérieure à celle observée à des intervalles plus grands (*v.g.* 200 m). Ceci peut résulter d'une périodicité de la variation mais aussi d'une précision plus faible de l'estimation de la variance due à la réduction de la taille de l'échantillon à mesure que l'on augmente l'intervalle d'échantillonnage. Pour obtenir de bonnes estimations, cette approche requiert de longs transects, ce qui n'est pas toujours possible dans la plaine de Montréal à cause de la forme oblongue des unités cartographiques, la partie la plus longue correspondant à l'orientation du dépôt.

L'approche géostatistique constitue donc un meilleur guide pour déterminer la densité optimale de prospection à l'intérieur d'un pédopaysage. Cependant, celle-ci est limitée dans son application aux descripteurs de type métrique (*v.g.* profondeur des carbonates, des matériaux originels, au gley, au roc, à une couche impédante, épaisseur d'un horizon, d'une couche, d'un matériau, les composantes de la couleur (teinte, valeur, chroma), *etc.*). Ces descripteurs ne représentent qu'une faible partie des critères diagnostiques généralement utilisés sur le terrain dans la discrimination des taxons et des unités cartographiques, les descripteurs de type non-métrique (*v.g.* classe texturale, de structure, de marmorisation, de consistance, *etc.*) étant beaucoup plus nombreux. Par contre, les descripteurs physico-chimiques, fréquemment utilisés dans les interprétations, se prêtent bien à cette approche.

Tableau 5 Indice de dos Santos (1978) pour la détermination de l'intervalle optimal d'observation le long d'un transect dans le pédopaysage des îlots sableux mal drainés du delta de Lanoraie, comté de Richelieu (Nolin 1982)

Intervalle d'échantillonnage (m) h	**Variance** s^2	**Nombre de transects nécessaires**[¶] y	**Temps** (*hre/transect*) t	**Coût** $c = t\,y$	**Indice de dos Santos** $I = s^2 c$
50	123	6	3,2	19,2	2362
100	107	6	2,0	12,0	1284
150	186	13	1,6	20,8	3869
200	53	3	1,4	4,2	223
500	6111	369	1,0	369,0	2 254 959

¶ Le nombre de transects nécessaires (y) pour estimer la proportion des sites de l'unité cartographique appartenant à une classe de sols donnée (*v.g.* taxon, classe texturale, *etc.*) pour un niveau de confiance de 80 % (Steers et Hajek 1979, Wang 1984) :

$$y = t^2 s^2 / d^2 \quad (6)$$

où t est la valeur tabulée de la statistique de Student, s^2 est la variance et d est l'écart admissible par rapport à la moyenne (m), soit :

$$d = t\, s_m \quad (7)$$

où s_m, l'erreur-type associée à l'estimation de la moyenne avec n transects, est donnée par :

$$sm = s / \sqrt{n} \quad (8)$$

4.4.5 Corrélation régionale (1ière phase)

Une première corrélation régionale des concepts taxonomiques avec les sols identifiés dans les projets limitrophes devrait aussi être réalisée à cette étape par les deux corrélateurs officiels de la province (*i.e.* provincial et fédéral) et le responsable du projet. Cette corrélation prend la forme d'une tournée générale du territoire à cartographier et requiert environ une journée par 10 000 ha. La visite des comtés limitrophes relève généralement des corrélateurs officiels de la province. La corrélation régionale est une opération très importante car elle évite la perte de temps inutile à corriger par la suite des concepts mal établis au départ. À cette étape, la description des profils est enregistrée sur des fiches-SISCan détaillées.

Les différentes fiches d'enregistrement et la base de données qui en résulte constituent les produits permettant d'évaluer le progrès et la qualité des travaux réalisés à cette étape.

4.5 ÉTAPE 5 : Rédaction du rapport et de la carte préliminaire semi-détaillée (1 : 50 000)

Le responsable du projet alloue les quatre mois qui suivent la première saison de terrain à la correction du prémodèle établi à l'étape 3, sur la base des observations recueillies au champ à l'étape 4. L'objectif de cette étape est donc la formulation du modèle semi-détaillé.

Ainsi, les contours présentés sur photos aériennes sont corrigés à la lumière des observations du réseau de contrôle et reportés sur les cartes topographiques publiées à l'échelle de 1 : 50 000. De plus, la désignation des unités cartographiques est précisée. Les fiches d'enregistrement des données de transects sont vérifiées et complétées. On procède ensuite au traitement statistique de l'information selon trois niveaux de perception :

1) par numéro de délimitation cartographique (polygone),
2) par symbole d'unité cartographique et
3) par symbole de taxon.

Ces statistiques descriptives servent à la corrélation et à la rédaction du rapport d'étape. Celui-ci est constitué d'un rapport ou d'une carte préliminaires (en attendant la sortie du document final, *i.e.* l'étude pédologique détaillée). Il est distribué en quantité limitée aux utilisateurs identifiés à l'étape 1, pour qu'ils puissent en retirer une information préliminaire pour leurs interprétations et aussi en faire la critique afin d'ajuster la stratégie d'échantillonnage (densité, descripteurs, classes, *etc.*) dans des délais raisonnables. Présenté sous forme littéraire (*v.g.* Nolin 1985a) ou tabloïde (*v.g.* Grenon 1986a), ce rapport préliminaire renferme habituellement :

1) une description des facteurs écologiques,
2) une description des unités cartographiques en terme de composition taxonomique (pourcentage des sols dominants, significatifs et des inclusions), de distribution de ces sols dans le pédopaysage ainsi que certaines interprétations agronomiques, et enfin
3) une description des profils représentatifs de chaque taxon majeur (*i.e.* ceux désignés dans la composition des unités cartographiques).

Ce document constitue aussi et surtout, une référence essentielle aux pédologues chargés de la deuxième partie du projet : le levé détaillé. Il leur est distribué et présenté avant de commencer l'étape 6.

4.6 ÉTAPE 6 : Préparation du levé détaillé (1 : 20 000)

Durant les trois mois précédant la seconde saison de terrain, le responsable du projet et les pédologues qui lui sont assignés s'occupent de la préparation du levé détaillé. Cette étape comporte trois opérations distinctes :

1) la partition du territoire à cartographier,
2) la formulation du prémodèle détaillé et
3) l'établissement du réseau de contrôle au champ.

4.6.1 Partition du territoire à cartographier

La première opération consiste à partitionner le territoire à cartographier en secteurs occupant de 9 000 à 12 000 ha, superficie pouvant être cartographiée par une équipe durant une saison normale (15 semaines) de terrain pour une progression moyenne de 150 ha jr^{-1} et une D.I.T. de 1 inspection par 6 ha. Ces secteurs sont par la suite subdivisés en blocs de 3 000 ha environ. Ces blocs seront utilisés pour le contrôle de la progression et de la qualité de la prospection. La répartition des secteurs à cartographier entre chacun des pédologues tend à respecter les divisions naturelles du terrain (pédopaysages), le lotissement, la complexité dans la distribution des sols, l'accessibilité et l'expérience des pédologues désignés. Cette opération relève donc du responsable du projet.

4.6.2 Formulation du prémodèle détaillé

L'objectif de la seconde opération est d'établir le prémodèle détaillé, *i.e.* la délimitation du territoire en unités cartographiques de sols sur les photographies aériennes (échelle de 1 : 15 000 ou 1 : 20 000 selon la disponibilité, l'année et la qualité des photographies). Elle est réalisée par chacun des pédologues sous la supervision du responsable de projet. Celui-ci amorce ainsi la première phase de corrélation interne entre les équipes (corrélation locale).

D'abord, les contours des pédopaysages qui apparaissent sur la carte préliminaire semi-détaillée ainsi que tous les points de contrôle réalisés à l'étape 4 sont transférés sur les photos aériennes. Le symbole du taxon (série ou variante) ainsi que les codes désignant les phases (texture de surface, pente, pierrosité, roccosité, érosion, *etc.*) de chacun de ces points de contrôle y sont aussi inscrits (voir Encadré 5).

ENCADRÉ 5
Symboles des unités cartographiques

Les deux premières lettres majuscules du symbole de l'unité cartographique représentent le code de la série de sols dominant l'unité. Une lettre minuscule est parfois ajoutée à celles-ci pour indiquer une variante de série. Le chiffre qui suit les premières lettres du symbole sert à indiquer la classe texturale de la couche de surface (type). On considère cinq classes texturales et une phase tourbeuse (T) :

Symbole	Classe texturale
1	sable grossier, sable, sable fin, sable très fin, sable grossier loameux, sable loameux, sable fin loameux;
2	loam sableux grossier, loam sableux, loam sableux fin, sable très fin loameux;
3	loam sableux très fin, loam, loam limoneux;
4	loam sablo-argileux, loam argileux, loam limono-argileux;
5	argile sableuse, argile, argile limoneuse et argile lourde.
T	>17 % de C organique

Les lettres qui suivent ces chiffres servent à indiquer la pente, le qualificatif textural, les risques d'inondation, la profondeur au roc, la pierrosité, la roccosité ou l'érosion éolienne ou hydrique, soit :

Symbole	Classe
b ou B	3 à 8 % de pente (complexe ou simple);
c ou C	8 à 15 % de pente (complexe ou simple);
d ou D	15 à 25 % de pente (complexe ou simple);
e ou E	>25 % de pente (complexe ou simple);
h	humifère (9 à 17 % de C organique);
g	graveleux ou caillouteux (20-49 % de fragments);
j	très graveleux ou très caillouteux (≥50 % de fragments);
i	périodiquement soumis aux inondations;
m	mince sur roc (contact lithique entre 50 et 100 cm);
n	très mince sur roc (contact lithique entre 20 et 50 cm);
p	légèrement à modérément pierreux (0,01-3 % de la surface);
q	très pierreux (3-15 % de la surface);
s	extrêmement pierreux (15-50 % de la surface);
t	excessivement pierreux (>50 % de la surface);
r	légèrement à modérément rocheux (2-25 % de la surface);
k	très rocheux (25-50 % de la surface);
x	extrêmement rocheux (50-90 % de la surface);
y	excessivement rocheux (>90 % de la surface);
v	érodé par le vent (<75 % de la surface);
u	fortement érodé par le vent (≥75 % de la surface);
w	érodé par l'eau (<75 % de la surface);
z	fortement érodé par l'eau (≥75 % de la surface).

Exemple : RGs2mcp — Rougemont, variante sableuse, loam sableux, mince sur roc, 8 à 15 % de pente, légèrement à modérément pierreux

Ces informations constituent le réseau de base pour la formulation du prémodèle détaillé. Puis les polygones sont délimités par interprétation des photographies aériennes et des cartes topographiques publiées à l'échelle de 1 : 20 000 (revoir Encadré 1). La numérotation des polygones et la désignation préliminaire des unités cartographiques complètent enfin cette seconde opération.

4.6.3 **Établissement du réseau de contrôle au champ**

La dernière opération correspond à l'établissement du réseau de contrôle au champ. Le pédologue doit donc compléter le réseau initial des transects 10% en localisant systématiquement des transects parallèles dont l'espacement entre les transects et l'intervalle d'observation à l'intérieur du transect tend à respecter la densité optimale de prospection estimée à l'étape 4 pour chaque pédopaysage. Le tableau 6 présente quelques combinaisons "espacement - intervalle" correspondant à différentes densités de prospection. Le pédologue sélectionne la meilleure stratégie en considérant qu'un plus grand nombre de transect permettra une vérification plus fréquente des contours et qu'un intervalle plus rapproché favorisera un ajustement plus fin des contours de polygones le long d'un transect ainsi qu'une meilleure estimation de l'organisation spatiale de la couverture pédologique (Valentine et Hamlen 1986).

Chacun de ces transects sont ensuite identifiés à l'aide d'un numéro. Parmi ceux-ci, il sélectionne des transects, complétant approximativement 25 % de la couverture totale visée, en les distribuant proportionnellement et stratégiquement entre les transects-10 % et en prenant soin toutefois d'allouer au moins deux transects par unité cartographique (Étape 7). Les autres transects disponibles pourront être utilisés à l'étape 8 dans la seconde phase (25-100 %) de la cartographie détaillée (Figure 4).

Chaque pédologue dispose d'environ deux à trois mois pour effectuer ces diverses opérations ainsi que pour préparer son matériel de terrain.

Tableau 6 Espacement entre les transects requis pour respecter différentes densités d'inspection selon l'intervalle d'observations sélectionné à l'intérieur des transects

Densité d'inspection		Intervalle à l'intérieur des transects			Espacement entre les transects		
		Terrain	Photos aériennes		Terrain	Photos aériennes	
			1 : 15 000	1 : 20 000		1 : 15 000	1 : 20 000
inspection par ha	*ha par inspection*	*(m)*	*(mm)*	*(mm)*	*(m)*	*(mm)*	*(mm)*
0,250	4	50	3,3	2,5	800	53,3	40,0
		75	5,0	3,8	533	35,5	26,7
		100	6,7	5,0	400	26,7	20,0
		150	10,0	7,5	267	17,8	13,4
		200	13,3	10,0	200	13,3	10,0
		300	20,0	15,0	133	8,9	5,0
0,200	5	50	3,3	2,5	1000	66,7	50,0
		75	5,0	3,8	667	44,5	33,3
		100	6,7	5,0	500	33,3	25,0
		150	10,0	7,5	333	22,2	16,7
		200	13,3	10,0	250	16,7	12,5
		300	20,0	15,0	167	11,1	8,4
0,167	6	50	3,3	2,5	1200	80,0	60,0
		75	5,0	3,8	800	53,3	40,0
		100	6,7	5,0	600	40,0	30,0
		150	10,0	7,5	400	26,7	20,0
		200	13,3	10,0	300	20,0	15,0
		300	20,0	15,0	200	13,3	10,0
0,143	7	50	3,3	2,5	1400	93,3	70,0
		75	5,0	3,8	933	62,2	46,7
		100	6,7	5,0	700	46,7	35,0
		150	10,0	7,5	467	31,1	23,3
		200	13,3	10,0	350	23,3	17,5
		300	20,0	15,0	233	15,6	11,7
0,125	8	50	3,3	2,5	1600	106,7	80,0
		75	5,0	3,8	1067	71,1	53,3
		100	6,7	5,0	800	53,3	40,0
		150	10,0	7,5	533	35,6	26,7
		200	13,3	10,0	400	26,7	20,0
		300	20,0	15,0	267	17,8	13,3

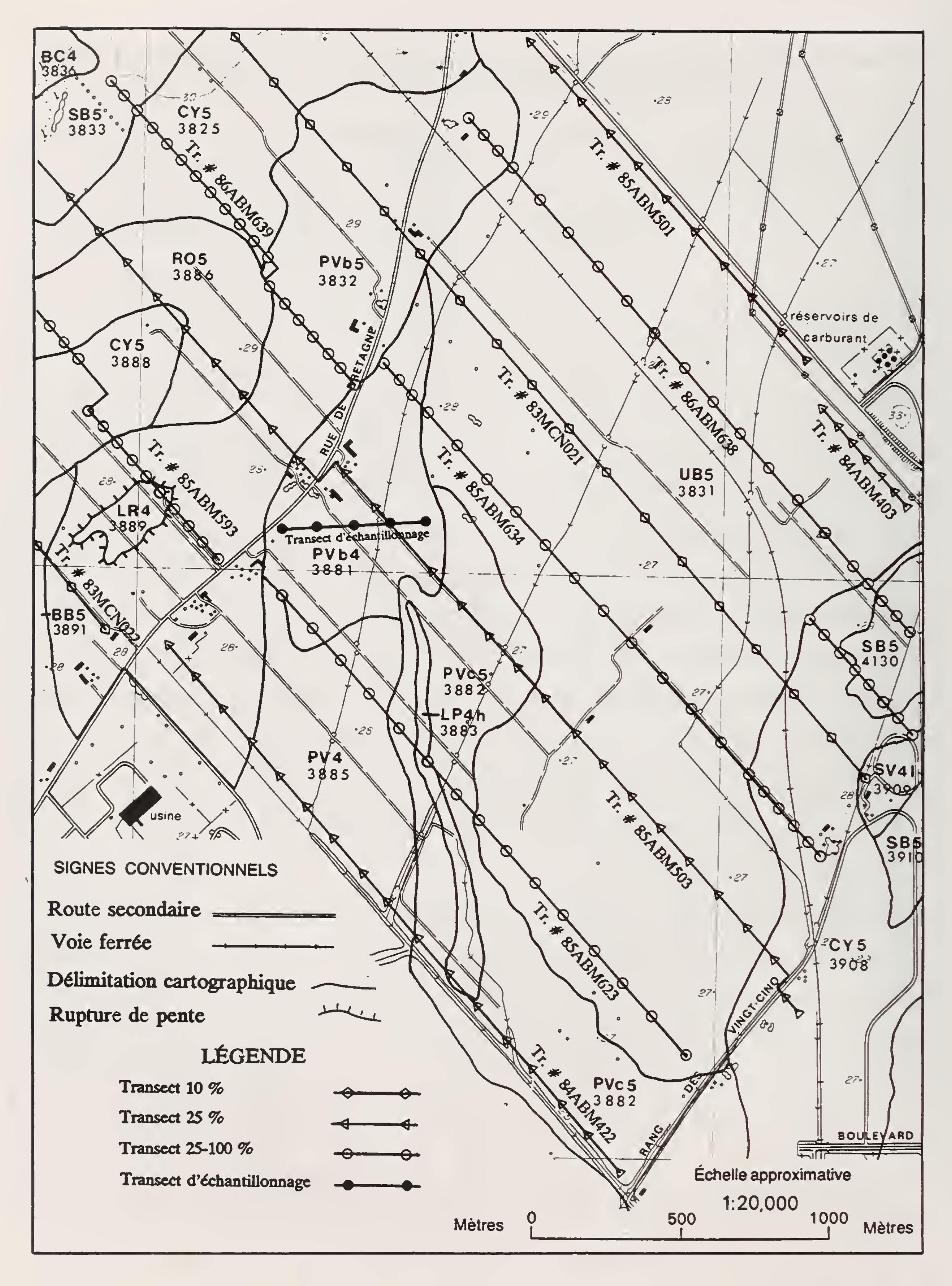


Figure 4 Exemple de la distribution des transects aléatoires stratifiés effectués au cours des différentes phases de la prospection (10 %, 25 %, 25-100 % et d'échantillonnage) dans un secteur de la municipalité de Boucherville, comté de Chambly (Martin et Nolin 1991).

4.7 ÉTAPE 7 : Levé détaillé (phase 25 %)

Cette étape est réalisée par le pédologue accompagné du responsable de projet et de son assistant. Le but de cette étape est avant tout de vérifier le prémodèle détaillé établi à l'étape 6 au moyen du réseau de contrôle au champ. De plus, le responsable du projet profite de l'occasion pour préciser au pédologue ses concepts concernant les différents taxons de sols identifiés (2ième phase de la corrélation interne ou locale). Un premier ajustement de la légende des unités cartographiques et des taxons se fait à cette étape.

Compte-tenu des ressources humaines disponibles sur le terrain à cette étape (3 personnes) toutes les expositions sont décrites systématiquement. Les données sont enregistrées sur une fiche-transect.

Cette étape consiste en fait à effectuer une première estimation (test pilote) des paramètres de la population concernant la composition taxonomique moyenne de chaque unité cartographique ainsi que de la variance associée à cette estimation. Elle peut aussi servir à déterminer le nombre de transects nécessaires (y) pour réaliser ces estimations en respectant certaines normes de fiabilité de l'information (voir Encadré 6). Les équations 6 à 8 présentées au bas du tableau 5 ou la méthode graphique basée sur la distribution binômiale proposée par Arnold (1979a) peuvent être utilisées pour le calcul de (y). Les transects supplémentaires requis seront effectués à l'étape suivante par le pédologue et son assistant. Étant un peu longue et compliquée, ces méthodes de calcul ont été peu utilisées au cours des prospections réalisées jusqu'à maintenant dans la plaine de Montréal. Les pédologues ont plutôt cherché à couvrir systématiquement chaque pédopaysage selon la densité optimale préconisée, en procédant toutefois selon l'approche itérative recommandée. Leur intuition les a guidés dans la détermination du nombre de transects nécessaires. Cette approche a cependant le désavantage d'entraîner l'utilisation d'un trop grand nombre de transects (Nolin et Lamontagne 1991). Un programme permettant d'automatiser ces calculs devrait donc être développé pour en faciliter et hâter l'utilisation.

ENCADRÉ 6
Indice de fiabilité de l'information pédologique

Dans le système utilisé par Nolin et Lamontagne (1991), chaque site de vérification se voit accorder un pointage (P1 à P5) selon le nombre de descripteurs incorrectement évalués et l'importance des erreurs en terme de nombre de classes de différence par rapport à celui des taxons désignant l'unité auquel il est le plus semblable, soit :

- P1 : tous les descripteurs sont correctement évalués;
- P2 : un descripteur présente une différence d'une classe;
- P3 : 25 % des descripteurs ou moins présentent une différence d'une classe;
- P4 : plus de 25 % des descripteurs présentent une différence d'une classe ou un descripteur présente une différence de deux classes;
- P5 : plusieurs descripteurs présentent une différence de deux classes ou plus.

Deux normes de qualité sont proposées pour évaluer la fiabilité d'une étude :

1) le pourcentage cumulé des sites classés P1 à P3 (inclusions semblables) doit être ≥50 % et
2) la proportion des sites classés P5 (inclusions contrastantes) doit être <15 %.

De façon à superviser également toutes les équipes de prospection (3 à 4), le responsable du projet effectue la phase 25 % sur les blocs de 3 000 ha et fait une rotation entre les différentes équipes. Environ 3 jours sont requis pour effectuer la phase 25 % dans un bloc de 3 000 ha en considérant une couverture de 15 % (*i.e.* 25 % - 10 %) et une progression de 25 inspections par jour pour une D.I.T. de 1 inspection par 6 ha.

4.8 ÉTAPE 8 : Levé détaillé (phase 25-100 %)

Cette étape est réalisée par le pédologue accompagné de son assistant. Il sélectionne stratégiquement, parmi les transects accessibles non utilisés, le nombre requis pour atteindre les normes de fiabilité et de précision de l'information pédologique visées. Les observations recueillies le long des transects réalisés lors de la phase 25 %, de même que celles effectuées au cours de la phase 25-100 % permettent d'améliorer le prémodèle (par agglomération). Le nombre de transects nécessaires, tel qu'estimé suite à la phase 25 %, peut donc être trop élevé. Ainsi, le pédologue compile au fur et à mesure de la prospection les données recueillies de façon à minimiser le coût de la prospection, n'effectuant que le nombre de transects nécessaires suite à l'amélioration du prémodèle. Étant donné les ressources humaines disponibles (2 personnes) à cette étape, les expositions ne sont décrites que sommairement. Uniquement les descripteurs retenus pour le diagnostic de désignation du sol et de l'unité cartographique sont enregistrés sur la fiche-transect.

Suite aux corrections apportées au prémodèle cartographique, le pédologue ajuste la désignation des unités cartographiques ainsi que la numération des polygones (dans le cas de fusion ou de création de polygones). Puis, il fournit au responsable du projet une fiche décrivant chaque polygone : la fiche de description des délimitations cartographiques (Figure 5). Ce document constitue pour le responsable du projet une référence de base pour une première évaluation de la qualité du produit fourni et un outil de corrélation pour comparer chaque secteur.

FICHE DE DESCRIPTION DES DÉLIMITATIONS CARTOGRAPHIQUES

Avant corrélation	
Numéro de délimitation	*167*
Symbole de l'unité	*PV4*
Initiales du pédologue	*MJD*

Après corrélation	
Numéro de délimitation	*988*
Symbole de l'unité	*PV4*
Code du pédopaysage	*146*

Localisation	
Comté	*Rouville*
Code de municipalité	*59-05*
Carte topographique (1 : 20 000)	*31H07-0201*
Photographie aérienne (1 : 20 000)	*17\Q76807-210*
Cote d'altitude (m)	*36*

Superficie	
Superficie totale (ha)	*111,6*
Superficie boisée (%)	*7,0*
Superficie boisée (ha)	*8,4*
Nombre d'inspections (N total)	*33*
Densité d'inspection (ha/inspection)	*3,64*

COMPOSITION TAXONOMIQUE

Liste des taxons par ordre numérique

23 PV / 4 MA / 3 HYb/ 1 DJ / 1 CBa/ 1 PVc/

Unité simple (✓) Unité composée ( )

Groupe	Liste des taxons appartenant au groupe	Type de composante	Fréquence
1	*PV / PVc / MA*	*sols dominants très semblables*	*28*
2	*DJ*	*inclusions semblables*	*1*
3	*HYb*	*inclusions dissemblables*	*3*
4	*CBa*	*inclusions contrastantes*	*1*

FRÉQUENCE DES CLASSES DE QUELQUES DESCRIPTEURS PÉDOLOGIQUES

Phase de texture de surface

Code	Classe texturale	Fréquence
1	SG S SF STF SGL SL SFL	*0*
2	LSG LS LSF STFL	*0*
3	LSTF L LLi	*6*
4	LSA LA LLiA	*21*
5	AS A ALi ALo	*6*
T	>17 % C organique	*0*
Total		*33*

Qualificatif textural

Code	Qualificatif	Fréquence
0 -	sans qualificatif	*33*
1 g	20-49 % de graviers	*0*
2 j	≥50 % de graviers	*0*
3 h	9-17 % C organique	*0*
6 g	20-49 % de cailloux	*0*
7 j	≥50 % de cailloux	*0*
Total		*33*

Pente - Degré

Code	Pourcentage	Fréquence
a	0 - 3	*31*
b	3 - 8	*2*
c	8 - 15	*0*
d	15 - 25	*0*
e	> 25	*0*
Total		*33*

Pente - Type

Code	Type	Fréquence
1	simple	*24*
2	complexe	*9*
Total		*33*

Phase de pierrosité

Code	Pourcentage de la surface	Fréquence
-	< 0,01 %	*33*
p	0,01 - 3 %	*0*
q	3 - 15 %	*0*
s	15 - 50 %	*0*
t	> 50 %	*0*
Total		*33*

Phase de roccosité

Code	Pourcentage de la surface	Fréquence
-	< 2 %	*33*
r	2 - 25 %	*0*
k	25 - 50 %	*0*
x	50 - 90 %	*0*
y	> 90 %	*0*
Total		*33*

Profondeur au contact lithique

Code	Profondeur (cm)	Fréquence
l	< 20	*0*
n	20 - 50	*0*
m	50 - 100	*0*
-	> 100	*33*
Total		*33*

Profondeur des carbonates

Code	Profondeur (cm)	Fréquence
1	< 55	*0*
2	55 - 105	*1*
3	105 - 125	*0*
4	> 125	*31*
Total		*32*

Drainage

Code	Classe de drainage	Fréquence
1	très rapidement drainé	*0*
2	rapidement drainé	*0*
3	bien drainé	*0*
4	modérément bien drainé	*0*
5	imparfaitement drainé	*0*
6	mal drainé	*33*
7	très mal drainé	*0*
Total		*33*

Remarques

NOLIN / 1992

Figure 5 Exemple d'une fiche de description des délimitations cartographiques : le polygone 988 (après corrélation) du comté de Rouville (communication personnelle).

4.9 ÉTAPE 9 : Vérification (contrôle de qualité) et corrélation

Cette étape est réalisée par le responsable du projet au fur et à mesure que le levé détaillé de chaque bloc est terminé. Une compilation sommaire des fiches de description des délimitations cartographiques doit avoir été réalisée. Le contrôle de qualité peut aussi être effectué à la fin du projet, quand la carte a été finalisée. Deux techniques d'échantillonnage peuvent être utilisées selon l'objectif visé :

1) l'échantillonnage complètement aléatoire et
2) l'échantillonnage stratifié aléatoire.

4.9.1 Échantillonnage complètement aléatoire

La première technique permet d'évaluer de façon globale si les normes de fiabilité de l'information pédologique du territoire considéré (*v.g.* bloc, carte, *etc.*) sont respectées. Cette technique consiste alors à sélectionner aléatoirement un certain nombre de sites de contrôle et d'en vérifier la fiabilité de l'information pédologique. Les informations vérifiées concernent habituellement la désignation des unités cartographiques soit l'identification des taxons dominants et des phases de surface. On parle alors de pureté taxonomique.

L'étude de fiabilité peut cependant porter sur l'ensemble des descripteurs utilisés dans les systèmes interprétatifs. Forbes et coll. (1982) ont ainsi proposé une méthode d'évaluation des erreurs d'estimation des descripteurs diagnostiques basée sur le nombre de classes de différence entre les valeurs observées et prédites. Nolin et Lamontagne (1991) l'ont adaptée de façon à tenir compte des critères utilisés pour l'interprétation des sols de la plaine de Montréal (Encadré 6).

Comme aux deux étapes précédentes (7 et 8), la proportion des sites appartenant à une classe donnée (*v.g.* à la classe de texture de surface 1 décrite dans l'encadré 5) peut être estimée à partir des formules 6 à 8 (Tableau 5) ou en utilisant la solution

graphique basée sur la distribution binômiale proposée par Arnold (1979a) et illustrée dans le bulletin technique rédigé par Wang (1984).

Forbes et coll. (1982) proposent une densité de vérification de un site par 10 fois la superficie moyenne des polygones (SMP). Ils suggèrent d'utiliser une SMP correspondant à 5 cm^2 à l'échelle de la carte, lorsque les valeurs de superficie des polygones ne sont pas disponibles. Ainsi, pour la carte des sols du comté de Chambly publiée à l'échelle de 1 : 20 000, la SMP peut être estimée de cette façon à 20 ha. Une densité de vérification d'un site par 200 ha est donc suggérée, soit environ 120 sites pour l'ensemble de la carte (24 000 ha). Il convient cependant de doubler cette densité (*i.e.* 1 site par 100 ha) pour la vérification des blocs de 3000 ha pour s'assurer d'une taille d'échantillons acceptable pour le contrôle de qualité ($n = 30$).

4.9.2 **Échantillonnage stratifié aléatoire**

En plus d'évaluer la fiabilité de l'ensemble d'un territoire, l'échantillonnage stratifié aléatoire permet aussi de localiser les strates (*i.e.* groupe de pédopaysages, matériaux originels, *etc.*) où la fiabilité laisse à désirer et où on devrait intensifier la prospection. Elle devrait donc être appliquée lorsque l'étude globale révèle que les normes de fiabilité du territoire sous contrôle ne sont pas respectées. Deux techniques d'échantillonnage ont été proposées à cette fin au Canada (Encadré 7):

1) celle de Wang (1984) faisant appel à la méthode des transects aléatoires stratifiés et
2) celle de Moon et coll. (1987) basée sur une distribution aléatoire uniforme des échantillons à l'intérieur du polygone.

La méthode de Wang (1984) a été utilisée pour le contrôle de la qualité de la prospection des sols du comté de Richelieu tandis que celle de Moon et coll. (1987) a servi à l'étude de la fiabilité de l'information pédologique du comté de Verchères (Nolin et Lamontagne 1991).

ENCADRÉ 7
Contrôle de la qualité de la prospection par échantillonnage aléatoire stratifié

I. Approche de Wang (1984)

L'approche proposée par Wang (1984) consiste à sélectionner aléatoirement des délimitations cartographiques dans lesquels on localise un transect traversant le polygone avec un angle de 90° par rapport à l'orientation du dépôt. La position du transect à l'intérieur du polygone peut être sélectionnée aléatoirement ou subjectivement (*v.g.* au centre du polygone), à condition qu'il n'y ait aucune raison de croire que la position choisie entraîne un biais dans l'estimation des descripteurs observés. L'intervalle d'observation à l'intérieur du transect est fixée au dixième de la longueur totale du transect (10 sites / transect). Le premier site est alors observé à une distance par rapport au contour du polygone correspondant à la moitié de l'intervalle d'observation (Figure 6). Dans les polygones de petite dimension (<50 ha), il est préférable de limiter le nombre de sites par transect à 5 et de doubler le nombre de transects, *i.e.* de polygones sélectionnés.

II. Approche de Moon et coll. (1987)

Selon Moon et coll. (1987), l'approche proposée par Wang (1984) est biaisée car elle concentre les échantillons vers le centre du polygone alors que la zone située à proximité des contours du polygone peut représenter jusqu'à 40 % de la superficie totale du polygone selon sa forme. Pour contrer ce biais, Moon et coll. (1987) suggèrent de diviser le polygone en dix parties équivalentes et de sélectionner aléatoirement un site de vérification à l'intérieur de chacun d'eux (Figure 7).



Figure 6 Sélection de 10 sites de vérification par la technique des transects aléatoires stratifiés (Wang 1984) dans le polygone 1041 du comté de Richelieu (Nolin et Lamontagne 1990).

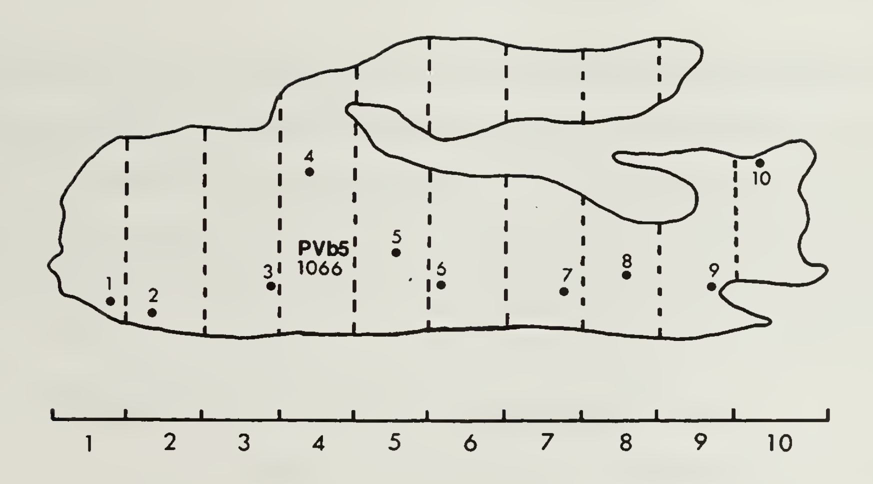


Figure 7 Sélection de 10 sites de vérification par la technique proposée par Moon et coll. (1987) dans le polygone 1066 du comté de Verchères (Lamontagne et Nolin 1990).

4.9.3 Corrélation régionale (2ième phase)

Le responsable du projet peut profiter de cette étape de vérification de même que de l'étape d'échantillonnage (Étape 10) pour poursuivre en compagnie des corrélateurs officiels de la province les travaux de corrélation régionale amorcée lors de la première saison de terrain (Étape 4). Si le contrôle de qualité révèle le besoin d'une cartographie plus détaillée dans un secteur donné, celle-ci sera effectuée avant l'étape d'échantillonnage.

4.10 ÉTAPE 10 : Échantillonnage

Le but de l'étape d'échantillonnage est de caractériser les descripteurs analytiques, *i.e.* évalués en laboratoire. L'échantillonnage est réalisé par le responsable du projet ou par un des pédologues une fois que l'ensemble du territoire ou d'une région physiographique donnée a été prospecté et que les contours de la carte pédologique sont définitifs. Deux modes d'échantillonnage sont possibles selon les buts visés, soit :

1) l'échantillonnage subjectif de pédons représentatifs et
2) l'échantillonnage aléatoire par transect.

4.10.1 Échantillonnage subjectif de pédons représentatifs

Dans le premier mode, le responsable du projet va sélectionner subjectivement des pédons qui seront caractérisés de façon très détaillée car ils serviront de repère (*Benchmark soil*) pour la classification du taxon dans le système canadien et l'interprétation de ses potentiels pour divers types d'utilisation. Les analyses de laboratoire comprennent les analyses physico-chimiques de routine et parfois certaines analyses plus spécifiques (physiques, minéralogiques, micromorphologiques, *etc.*). Enfin, lorsqu'une série présente suffisamment d'étendue dans une région donnée, on en prélève un monolithe qui sera utilisé pour des fins didactiques.

Ces pédons sont généralement situés sur des sites facilement accessibles, car on les utilise fréquemment lors des tournées pédologiques. De plus, on choisit habituellement la position caractéristique du taxon dans le paysage et une unité cartographique homogène représentative (*v.g.* au centre des polygones de grande taille).

4.10.2 **Échantillonnage aléatoire par transect**

Le second mode fait appel à une sélection aléatoire des échantillons le long de transects. L'objectif de cet échantillonnage est d'étudier la variabilité des descripteurs impliqués dans le diagnostic de classification ou d'interprétation.

Une méthodologie particulière a été développée pour cet échantillonnage. Dans un premier temps, trois délimitations cartographiques sont tirées au hazard parmi chaque unité cartographique importante, *i.e.* occupant une certaine superficie. Chaque polygone appartenant à l'unité cartographique a une probabilité d'être sélectionnée proportionnelle à sa taille. Contrairement à l'approche décrite par Wang (1984), la position et l'orientation du transect à l'intérieur du polygone est aussi déterminée aléatoirement. Ceci se fait en trois opérations :

1) la première consiste à tracer l'axe longitudinal du polygone, *i.e.* l'axe le plus long correspondant généralement à l'orientation du dépôt, et à le subdiviser par la suite en 100 parties égales (P1 à P100);
2) la seconde, à sélectionner aléatoirement un point sur cet axe par où passera le transect d'échantillonnage, point compris entre P10 et P90 afin d'éliminer de la sélection les extrémités du polygone (précaution prise afin d'éviter l'effet de bordure (Wang 1982) et pour s'assurer de la localisation du transect à l'intérieur du polygone); et enfin
3) la dernière consiste à sélectionner aléatoirement un angle entre 45° et 135° par rapport à l'axe longitudinal déterminant l'orientation du transect dans le polygone.

De cette façon, les transects sont généralement orientés obliquement, et non perpendiculairement comme le suggère Wang (1984), par rapport à l'orientation des dépôts et des lots. Cette stratégie permet ainsi d'échantillonner les sols sur des cultures différentes, des producteurs différents, et de façon générale sur des régies différentes. Ces diverses sources de variation importantes pour plusieurs descripteurs pédologiques en milieu agricole sont donc confondues au niveau de l'erreur d'échantillonnage. Seule la variation inhérente à la population échantillonnée (unité, taxon, *etc.*) est étudiée.

Cette étape exige une description morphologique complète de chaque horizon ou couche échantillonné de façon à pouvoir comparer par des techniques statistiques les données morphologiques et analytiques et d'effectuer ultérieurement une prédiction des dernières à partir d'une mesure des premières selon les modèles ainsi obtenus (*v.g.* McKeague et coll. 1971, Kloosterman et coll. 1974). Les données de laboratoire seront enregistrées sur une fiche-transect conçue pour les données analytiques (Figure 8).

L'étape d'échantillonnage par transect peut aussi être réalisée en même temps que l'étape de vérification si celle-ci est effectuée selon un choix aléatoire des polygones.

4.11 ÉTAPE 11 : Compilation des données et de la carte finale détaillée

Cette étape comporte trois opérations qui peuvent s'étendre sur plusieurs années selon la superficie du territoire à cartographier :

1) l'édition préliminaire des contours et des fiches de description des délimitations cartographiques,
2) l'édition finale de la carte,
3) l'édition finale de la base de données et traitement statistique de l'information pédologique.

Agriculture Canada

Centre de Recherches sur les Terres et les Ressources Biologiques
Équipe du Québec

Feuille d'échantillonnage N° 1
(Fiche-transect)

IDENTIFICATION												DESCRIPTEURS PHYSIQUES											DESCRIPTEURS CHIMIQUES								
Transect				Unité cartographique					Horizon			Limites d'Atterberg		Granulométrie									C org. (%)	pH		NH_4OAc 1N pH 7.0 (mequiv/100 g)					P ass. (mg/kg)
Initiales	No de transect	No de site	Année	No du comté	No de la délimitation	Désignation de l'unité	Code		No de la couche	No de l'hor.	Désignation de l'horizon	Limite de plasticité (%)	Limite de liquidité (%)	Fragments grossiers (%)	Fractions sableuses (%)					Sable total (%)	Limon total (%)	Argile totale (%)		H_2O	$CaCl_2$	C.E.C.	Ca éch.	Mg éch.	K éch.	Na éch.	
							série	var.							STG	SG	SM	SF	STF												
01|02|03	04|05|06	07|08	09|10	11|12	13|14|15|16	17|18|19|20|21	22|23	24	25	26|27	28|29|30|31|32	33|34	35|36	37|38|39	40|41|42	43|44|45	46|47|48	49|50|51	52|53|54	55|56|57	58|59|60	61|62|63	64|65|66|67	68|69	70|71	72|73|74|75|76	77|78|79	80|81|82|83	84|85|86|87	88|89|90|91	92|93|94|95
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
														.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
01|02|03	04|05|06	07|08	09|10	11|12	13|14|15|16	17|18|19|20|21	22|23	24	25	26|27	28|29|30|31|32	33|34	35|36	37|38|39	40|41|42	43|44|45	46|47|48	49|50|51	52|53|54	55|56|57	58|59|60	61|62|63	64|65|66|67	68|69	70|71	72|73|74|75|76	77|78|79	80|81|82|83	84|85|86|87	88|89|90|91	92|93|94|95

NOLIN / 1993

Figure 8 Exemple d'une fiche-transect conçue pour l'enregistrement des données analytiques des sols échantillonnés par transect ou par grille.

4.11.1 Édition préliminaire des contours et des fiches de description des délimitations cartographiques

Une fois la saison achevée, chaque pédologue alloue environ trois mois aux retouches finales des contours de chaque polygone, à la validation de l'information recueillie ainsi qu'à la correction préliminaire de la fiche de description des délimitations cartographiques.

Un technicien est ensuite chargé de la mise en carte des contours pédologiques sur fond topographique ou cadastral ou encore sur mosaïques photographiques publiés à l'échelle de 1 : 20 000.

Ainsi, chaque fiche d'enregistrement des données morphologiques observées le long de transect, est complétée en ce qui a trait au numéro de polygone et au symbole de l'unité cartographique de chaque enregistrement, en particulier ceux provenant des transects 10 %. Une fois le fichier informatique complété, une procédure informatique permet au responsable du projet ou au pédologue assigné à cette tâche de :

1) dresser une liste globale des polygones et des unités cartographiques, et
2) d'extraire pour chaque polygone des statistiques descriptives préliminaires afin de compléter la fiche de description des délimitations cartographiques.

Comme on peut le constater dans l'exemple présenté à la figure 5, celle-ci comprend:

1) la liste et la fréquence de tous les taxons identifiés dans le polygone, et
2) la fréquence des principaux critères diagnostiques (*i.e.* les classes de texture de surface, de pente, de pierrosité, de roccosité, de profondeur au roc, de profondeur des carbonates et de drainage).

Ces rapports mécanographiques ainsi que la carte pédologique détaillée constituent les documents produits annuellement au cours de cette première opération par chacun des pédologues responsables d'un secteur à cartographier. Selon l'urgence de la demande, le responsable du projet peut distribuer l'information disponible aux utilisateurs en indiquant toutefois son statut "préliminaire".

4.11.2 **Édition finale de la carte**

Une fois que tout le territoire a été porté sur carte, le responsable du projet procède à un examen approfondi du document cartographique en vue de son édition finale. Ainsi, selon leur pertinence au point de vue des interprétations, les unités cartographiques de faible étendue ou peu récurrentes seront agglomérées à la délimitation voisine présentant le moins de contraste ou seront désignées du nom de l'unité cartographique présentant la plus grande similarité. L'objectif de cette démarche est d'arriver à réduire le nombre initial d'unités cartographiques généralement trop élevé à une taille qui en facilite la compréhension par les utilisateurs (Valentine et Chang 1980). En plus d'être difficiles à visualiser sur la carte (G.T.S.C. 1982), les polygones de faible étendue (<4 ha) sont fréquemment à la limite des normes de fiabilité (Nolin et Lamontagne 1991). Boulaine (1980) appelle cette opération "condensation des unités cartographiques". Cette opération peut être précédée de la "condensation des taxons" présentant peu d'étendue dans le territoire. Un trop grand nombre de taxons entraîne souvent une précision trop élevée compte tenu de son utilité et de la fiabilité qui l'accompagne (Nolin et Lamontagne 1991).

4.11.3 **Édition finale de la base de données et traitement statistique de l'information pédologique**

Une fois cette dernière étape de corrélation effectuée, le fichier informatique est édité dans sa version finale et des statistiques descriptives sont extraites à nouveau selon trois fiches :

1) la fiche de description des délimitations cartographiques (Figure 5) qui constitue un produit interne disponible sur demande,
2) la fiche de description des unités cartographiques (Figure 9), et
3) la fiche de description des taxons (Figure 10)

Ces deux dernières fiches serviront à la rédaction du rapport pédologique final.

4.12 **ÉTAPE 12 : Rédaction du rapport pédologique final**

Le format des rapports pédologiques est en constante évolution au Canada afin de mieux répondre aux objectifs des utilisateurs. Mais de façon générale, le contenu de l'information pédologique des différents rapports est assez uniforme.

La méthodologie utilisée pour la prospection des sols de la plaine de Montréal a permis de présenter dans les rapports une information précise, principalement axée sur la documentation de la variabilité des descripteurs pédologiques. À titre d'exemple : l'étude pédologique du comté de Chambly (Martin et Nolin 1991). Cette étude est constituée de deux volumes. Le premier donne la description et l'interprétation des unités cartographiques tandis que le second est réservé à la description technique des taxons.

Le volume 1 est composé de six chapitres :

1) le chapitre 1 présente une description générale du comté (*i.e.* la situation, l'agriculture, les unités physiographiques, la géologie du socle rocheux et des dépôts de surface, le climat et la végétation forestière);
2) le chapitre 2 est réservée à la description des méthodes de prospection et de classification des sols;
3) le chapitre 3 est consacrée à la description des unités cartographiques sous forme tabloïde (Figure 11);

UNITÉS		
	PV5	*Providence, argile limoneuse*
	PV5b	*Providence, argile limoneuse, 3 à 8 % de pente*
	PV5w	*Providence, argile limoneuse, légèrement à modérément érodé*

Sol dominant (*90* %)	*PV Providence*
Sols significatifs (%)	
(%)	
(%)	

Inclusions (*10* %)	*RO Ste-Rosalie*
	DJ Dujour

Descripteurs pédologiques	Moyenne, mode ou mediane	Domaine de variation	
		Minimum	Maximum
Phases de surface			
Pente	*21*	*21*	*32 (PV5b)*
Pierrosité	*1*		
Roccosité	*1*		
Érosion hydrique	*0*	*0*	*1 (PV5w)*
Érosion éolienne	*0*		
Drainage	*6*		
Profondeurs dans le profil			
C. indurée - Description	*0*		
C. indurée - Prof. (*cm*)	*>120*		
Lits - Abondance	*0*		
Lits - Description	*0*		
Lits - Prof. (*cm*)	*>120*		
Nappe d'eau (*cm*)	*>120*		
Enracinement (*cm*)			
Solum (*cm*)	*85*	*70*	*100*
Gley (*cm*)	*20*	*0*	*30*
Carbonates (*cm*)	*>120*		
Roc (*cm*)	*>120*		
Description des matériaux originels			
Matériau1 - Description	*90 000*	*80 000*	
Matériau1 - Prof. (*cm*)	*>120*		
Matériau2 - Description			
Matériau2 - Prof. (*cm*)			
Matériau3 - Description			
Milieu forestier - Partie supérieure de la couche de surface			
Horizon *n* =			
Épaisseur (*cm*)			
Partie intermédiaire de la couche de surface - Ah(e)			
Horizon *n* =			
Épaisseur (*cm*)			
Texture - Qualificatif			
Matrice - Teinte			
Matrice - Valeur			
Matrice - Chroma			
Structure			
Consistance - Sec			
Consistance - Humide			
Effervescence			
Fragments >2 *mm* (%)			
Partie inférieure de la couche de surface - Ae			
Horizon *n* =			
Épaisseur (*cm*)			
Texture - Qualificatif			
Matrice - Teinte			
Matrice - Valeur			
Matrice - Chroma			
Structure			
Consistance - Sec			
Consistance - Humide			
Effervescence			
Fragments >2 *mm* (%)			

Descripteurs pédologiques	Moyenne, mode ou mediane	Domaine de variation	
		Minimum	Maximum
Milieu cultivé - Couche de surface (Horizon Ap)			
Horizon *n* =	*Ap*	*Apg*	
Épaisseur (*cm*)	*27*	*7*	*60*
Texture - Qualificatif	*ALi*	*A*	
Matrice - Teinte	*10 YR*	*10 YR*	*2,5 Y*
Matrice - Valeur	*3,0*	*3,0*	*4,5*
Matrice - Chroma	*2,0*	*2,0*	*3,0*
Structure	*701*	*533, 534*	
Consistance - Sec			
Consistance - Humide	*2*	*2*	*4*
Effervescence	*0*		
Fragments >2 *mm* (%)	*0*		
Partie supérieure du sous-sol (Horizon B diagnostique)			
Horizon *n* =	*Bg*		
Épaisseur (*cm*)	*19*	*10*	*40*
Profondeur (*cm*)	*25*	*20*	*30*
Texture1 - Qualificatif	*ALo*	*ALi, A*	
Texture2			
Fragments >2 *mm* (%)	*0*		
Matrice - Teinte	*2,5 Y*	*10 YR*	*5 Y*
Matrice - Valeur	*5,0*	*4,0*	*6,0*
Matrice - Chroma	*2,0*	*1,0*	*3,0*
Marbrures - Teinte	*10 YR*	*7,5 YR*	*2,5 Y*
Marbrures - Valeur	*5,0*	*4,0*	*5,0*
Marbrures - Chroma	*6,0*	*4,0*	*8,0*
Marbrures - Description	*313*	*323*	
Porosité	*2*	*1*	*4*
Structure	*701*	*533, 534*	
Consistance - Sec			
Consistance - Humide	*3*	*2*	*4*
Consistance - Trempé			
Concrétions	*0*		
Taches de manganèse	*2*	*1*	*5*
Effervescence	*0*		
Substratum, substratum contrastant (Horizon C, IIC)			
Horizon *n* =	*Cg*		
Texture1 - Qualificatif	*ALo*		
Texture2			
Fragments >2 *mm* (%)	*4*		
Matrice - Teinte	*5 Y*	*2,5 Y*	*5 Y*
Matrice - Valeur	*5,0*	*4,0*	*6,0*
Matrice - Chroma	*2,0*	*1,0*	*3,0*
Marbrures - Teinte	*10 YR*		
Marbrures - Valeur	*5,0*	*4,0*	*5,0*
Marbrures - Chroma	*6,0*	*4,0*	*8,0*
Marbrures - Description	*323*	*313*	
Consistance - Humide	*4*	*3*	*4*
Consistance - Trempé	*3*	*3*	*4*
Concrétions	*4*		
Taches de manganèse	*1*	*0*	*3*
Effervescence	*0*		

Taille de l'échantillon : *707 / 886* **Comté de :** *Chambly*
Initiales du pédologue : *ABM* **Date :** *Sept 88*

NOLIN / 1986

Figure 9 Exemple d'une fiche de description des unités cartographiques : les unités PV5, PV5b et PV5w du comté de Chambly (Martin et Nolin 1991).

SÉRIE	PV	*Providence*

Descripteurs pédologiques	Moyenne, mode ou médiane	Domaine de variation	
		Minimum	Maximum
Phases de surface			
Pente	21	21	22
Pierrosité	1		
Roccosité	1		
Érosion hydrique	0		
Érosion éolienne	0		
Drainage	6		
Profondeurs dans le profil			
C. indurée - Description	0		
C. indurée - Prof. (*cm*)	>120		
Lits - Abondance	0		
Lits - Description	0		
Lits - Prof. (*cm*)	>120		
Nappe d'eau (*cm*)	>120	110	>120
Enracinement (*cm*)			
Solum (*cm*)	80	70	90
Gley (*cm*)	25	0	30
Carbonates (*cm*)	>120		
Roc (*cm*)	>120		
Description des matériaux originels			
Matériau1 - Description	90 000		
Matériau1 - Prof. (*cm*)	>120		
Matériau2 - Description			
Matériau2 - Prof. (*cm*)			
Matériau3 - Description			
Milieu forestier - Partie supérieure de la couche de surface			
Horizon *n* = 22	LFH		
Épaisseur (*cm*)	2	1	3
Partie intermédiaire de la couche de surface - Ah(e)			
Horizon *n* = 134	Ap		
Épaisseur (*cm*)	13	5	20
Texture - Qualificatif	LLiA	L, LA	
Matrice - Teinte	10 YR	10 YR	2,5 Y
Matrice - Valeur	3,0	1,0	3,5
Matrice - Chroma	2,0	1,0	2,5
Structure	533	534, 635	
Consistance - Sec			
Consistance - Humide	2	2	3
Effervescence	0		
Fragments >2 *mm* (%)	0		
Partie inférieure de la couche de surface - Ae			
Horizon *n* = 23	Ae		
Épaisseur (*cm*)	5	3	13
Texture - Qualificatif			
Matrice - Teinte			
Matrice - Valeur			
Matrice - Chroma			
Structure			
Consistance - Sec			
Consistance - Humide			
Effervescence			
Fragments >2 *mm* (%)			

Descripteurs pédologiques	Moyenne, mode ou médiane	Domaine de variation	
		Minimum	Maximum
Milieu cultivé - Couche de surface (Horizon Ap)			
Horizon *n* = 1120	Ap	Apg	
Épaisseur (*cm*)	27	15	40
Texture - Qualificatif	ALi	LLiA, L	
Matrice - Teinte	10 YR	10 YR	2,5 Y
Matrice - Valeur	3,0	4,0	4,0
Matrice - Chroma	2,0	2,0	3,0
Structure	533	701, 633	
Consistance - Sec			
Consistance - Humide	2	2	3
Effervescence	0		
Fragments >2 *mm* (%)	0		
Partie supérieure du sous-sol (Horizon B diagnostique)			
Horizon *n* =	Bg		
Épaisseur (*cm*)	Ap	9	40
Profondeur (*cm*)	25	10	40
Texture1 - Qualificatif	ALo	ALi, A	
Texture2			
Fragments >2 *mm* (%)	0		
Matrice - Teinte	2,5 Y	2,5 Y	5 Y
Matrice - Valeur	5,0	4,0	5,0
Matrice - Chroma	2,0	2,0	4,0
Marbrures - Teinte	10 YR		
Marbrures - Valeur	5,0	4,0	5,0
Marbrures - Chroma	6,0	5,0	8,0
Marbrures - Description	313	323	
Porosité	2	1	4
Structure	701	533	
Consistance - Sec			
Consistance - Humide	3	2	4
Consistance - Trempé			
Concrétions	5		
Taches de manganèse	1	1	3
Effervescence	0		
Substratum, substratum contrastant (Horizon C ou IIC)			
Horizon *n* =	Cg		
Texture1 - Qualificatif	ALo		
Texture2			
Fragments >2 *mm* (%)	0		
Matrice - Teinte	5 Y	2,5 Y	5 Y
Matrice - Valeur	5,0	4,0	5,5
Matrice - Chroma	2,0	1,5	4,0
Marbrures - Teinte	10 YR		
Marbrures - Valeur	5,0	4,0	5,0
Marbrures - Chroma	6,0	4,0	6,0
Marbrures - Description	323	313	
Consistance - Humide	4	3	4
Consistance - Trempé			
Concrétions	0		
Taches de manganèse	1	1	3
Effervescence	0		

Taille de l'échantillon : *1255* **Comté de :** *Chambly*
Initiales du pédologue : *ABM* **Date :** *Fev 88*

NOLIN / 1986

Figure 10 Exemple d'une fiche de description des taxons : la série de Providence (PV) du comté de Chambly (Martin et Nolin 1991).

PV5 -- PROVIDENCE, ARGILE LIMONEUSE

SOL DOMINANT :	PV (90 %)

DESCRIPTION GÉNÉRALE DU TERRAIN

Pente	0-3 %, complexe
Pierrosité	Nulle
Roccosité	Nulle
Érosion hydrique	Nulle
Drainage	Mauvais
Profondeur au roc	>120 cm

INCLUSIONS

Série	Type	Propriétés discriminantes
RO	Semblable	Perméabilité rapide dans le profil
DJ	Semblable	Sous-sol argileux-fin avec 1-20 % de fragments grossiers

MATÉRIAU PARENTAL

Matériau	Argileux-très fin, non calcaire

POSITION PHYSIOGRAPHIQUE ET LOCALISATION

Sous-région	Plaine étale de la vallée du St-Laurent
District	Vallée fluviale du Proto-Saint-Laurent ou replat argileux estuarien
Pédo-paysage	Argile marine remaniée (2B) (2G)
Localisation	Carignan, Saint-Basile-le-Grand et Saint-Bruno-de-Montarville

RÉGIME HYDRIQUE

Série : PV

Eau utile	Ruissellement	Début du gley
Très élevée à élevée	Lent à très lent	20 cm (0-30 cm)

Perméabilité		Position de la nappe	
Surface	Modérée à rapide	Mai-Juin	> 60 cm
Sous-sol	Modérée à lente	Juillet-Août	>120 cm
Substratum	Modérée à lente	Septembre-Octobre	>120 cm

NIVEAU DE FERTILITÉ
(Couche de surface)

Matière organique	Modérée
P assimilable	Faible
K échangeable	Élevé
Ca échangeable	Modéré
Mg échangeable	Très élevé
Na échangeable	Élevé
CEC	Élevé

PROFIL TYPIQUE

Série : PV — Milieu : Cultivé

Descripteur	Couche de surface	Partie supérieure du sous-sol	Substratum
Profondeur	0-25 cm	25-50 cm	85 cm et +
Texture	ALi, A	ALo, ALi, A	ALo
Réaction (pH)	6,1-6,5	6,6-7,3	7,4-7,8
Couleur	Brun grisâtre très foncé	Brun grisâtre	Gris olivâtre
Marbrures	Absentes à rares	Nombreuses	Nombreuses
Structure	Faible ou massive	Faible ou massive	Massive
Consistance	Très friable	Friable	Ferme
Effervescence	Nulle	Nulle	Nulle

REMARQUES

DÉLIMITATIONS CARTOGRAPHIQUES

Nombre	50
Superficie (ha)	
Totale	2 207,3
Moyenne	44,2
Minimum	0,6
Maximum	456,3
Boisée (%)	5

INTERPRÉTATIONS

Série : PV

ITC modifié	3WD
Propriétés physiques	Tableau 5.02
Propriétés chimiques	Tableau 6.42

Figure 11 Exemple du format utilisé pour présenter la description des unités cartographiques : l'unité Providence, argile limoneuse (PV5) du comté de Chambly (Martin et Nolin 1991).

4) le chapitre 4 présente une interprétation des données pédologiques en terme de possibilités d'utilisation agricole, de besoin d'aménagement et de risques de dégradation;

5) le chapitre 5 dresse une synthèse des principaux descripteurs physiques des sols groupés selon leur granulométrie; et enfin,

6) le chapitre 6 expose un résumé statistique des principaux descripteurs physico-chimiques pour chaque type de sols (Figure 12).

Le second volume débute par un exposé théorique sur les facteurs de formation des sols ainsi que sur la morphologie, la genèse et la classification des sols. Le corps du volume est consacrée à la description de profils représentatifs de chacun des taxons identifiés et de leur variation. Le tout se termine par un tableau de corrélation des différents taxons avec les études pédologiques antérieures ou limitrophes.

L'interprétation des unités cartographiques n'est pas effectuée à la toute fin de cette stratégie comme semble l'indiquer sa position à l'étape 12. Au contraire, elle débute même à la première étape lors de la définition des objectifs spécifiques des utilisateurs. Puis, tout au long du cheminement, le responsable du projet et les pédologues participant à la prospection accumulent des données servant à diverses interprétations. Il est aussi possible, bien que non-souhaitable, car ceci augmente les coûts de la prospection, de retourner effectuer des transects supplémentaires pour quantifier certains descripteurs spécifiques non inclus dans le levé de routine. Le sondage auprès des utilisateurs réalisé à l'étape 1 aurait dû dégager ce besoin dès le départ. Plusieurs données analytiques (fertilité, conductivité hydraulique) de même que des données de rendement et de régie des productions végétales utiles pour les interprétations peuvent enfin être obtenues auprès des bureaux de renseignement agricole, des compagnies privées (engrais chimiques, drainage, coopérative agricole) ou auprès des producteurs eux-mêmes.

Série : PV (Providence)

Types : (1) PV3
(2) PV4, PV4b, PV4w
(3) PV5, PV5b, PV5w

COUCHE DE SURFACE

Types	Est.*	SG	SM	SF	STF	Sable	Limon	Argile	pH	C org.	CEC	Ca	Mg	K	Na	P ass.
		(%)							eau	(%)	(mequiv / 100 g)					(ppm)
1	N	1	1	1	1	17	17	17	16	13	10	10	10	10	10	9
	Moy.	2,6	1,5	1,6	3,0	38,2	39,6	22,2	6,0	2,13	17,85	7,8	2,17	0,27	0,19	31,4
	Inf.	-	-	-	-	33,4	34,4	20,1	5,7	1,53	16,14	6,7	1,77	0,20	0,08	25,2
	Sup.	-	-	-	-	43,0	44,9	24,2	6,2	2,85	19,72	9,1	2,62	0,35	0,31	39,0
	CV	-	-	-	-	30	31	22	10	37	6	11	20	41	93	10
2	N	1	1	1	1	30	30	30	30	30	21	25	25	25	24	24
	Moy.	2,6	3,6	3,1	1,5	26,2	39,6	34,3	6,2	2,10	21,55	11,0	3,34	0,43	0,29	42,9
	Inf.	-	-	-	-	21,7	35,9	33,1	6,0	1,81	19,85	9,4	2,93	0,26	0,24	34,1
	Sup.	-	-	-	-	30,6	43,2	35,5	6,4	2,41	23,39	12,7	3,79	0,62	0,34	54,0
	CV	-	-	-	-	55	30	11	10	28	7	16	20	103	43	17
3	N	14	14	14	14	100	100	100	100	96	74	89	89	89	90	83
	Moy.	1,8	4,5	3,8	1,4	12,8	35,8	51,4	6,1	2,49	30,18	12,8	5,41	0,52	0,36	57,7
	Inf.	1,1	2,9	2,7	1,1	11,6	34,7	50,3	6,0	2,27	29,30	12,2	5,02	0,49	0,33	52,1
	Sup.	2,4	6,1	4,9	1,6	13,9	36,9	52,6	6,2	2,72	31,09	13,5	5,83	0,55	0,39	63,9
	CV	77	75	62	39	55	19	14	10	30	4	11	19	30	40	14

PARTIE SUPÉRIEURE DU SOUS-SOL

Types	Est.*	SG	SM	SF	STF	Sable	Limon	Argile	pH	C org.	CEC	Ca	Mg	K	Na	P ass.
		(%)							eau	(%)	(mequiv / 100 g)					(ppm)
1,2,3	N	1	1	1	1	22	22	22	22	5	7	7	7	7	3	7
	Moy.	1,0	2,0	2,0	1,0	6,8	34,4	58,7	6,7	0,41	30,00	13,0	9,39	0,46	1,23	77,5
	Inf.	-	-	-	-	5,4	31,2	55,1	6,5	0,25	27,80	11,6	6,62	0,29	0,57	54,5
	Sup.	-	-	-	-	8,3	37,7	62,4	6,9	0,58	32,37	14,7	13,17	0,66	2,17	110,1
	CV	-	-	-	-	59	26	17	8	37	3	6	18	46	26	11

SUBSTRATUM

Types	Est.*	SG	SM	SF	STF	Sable	Limon	Argile	pH	C org.	CEC	Ca	Mg	K	Na	P ass.
		(%)							eau	(%)	(mequiv / 100 g)					(ppm)
1,2,3	N	0	0	0	0	21	21	21	27	3	12	12	12	12	9	6
	Moy.	-	-	-	-	3,7	29,2	67,1	7,6	0,23	27,83	12,1	10,09	0,67	1,27	137,4
	Inf.	-	-	-	-	1,6	26,7	64,7	7,5	0,07	26,32	10,7	9,11	0,60	0,83	121,4
	Sup.	-	-	-	-	5,9	31,7	69,4	7,8	0,42	29,42	13,7	11,17	0,74	1,81	155,6
	CV	-	-	-	-	153	23	9	7	41	3	9	7	16	42	3

* Estimateurs des paramètres de la population : N = Taille de l'échantillon; Moy. = Moyenne de l'échantillon;
Inf. = Limite inférieure de l'intervalle de confiance de l'estimation de la moyenne (Probabilité de 90 %);
Sup. = Limite supérieure de l'intervalle de confiance de l'estimation de la moyenne (Probabilité de 90 %);
CV = Coefficient de variation (CV = (Écart-type / Moyenne) x 100).

Figure 12 Exemple du format utilisé pour présenter le résumé statistique des descripteurs physico-chimiques des taxons : la série et les types de sols de Providence du comté de Chambly (Martin et Nolin 1991).

4.13 ÉTAPE 13 : Livraison de l'étude aux utilisateurs

Les contacts avec les utilisateurs sont constants tout au long de l'étude. Ils sont importants pour que l'étude réponde adéquatement aux besoins des utilisateurs et que ceux-ci puissent profiter, au fur et à mesure de leur production, des données recueillies au cours de la prospection. Le responsable du projet se doit aussi de familiariser les utilisateurs avec le langage technique utilisé ainsi qu'avec le concept de chaque taxon et unité cartographique identifiés sur la carte. Les utilisateurs sont donc invités périodiquement à des tournées sur le terrain : d'abord en début de projet, pour la livraison de l'étude pédologique semi-détaillée, puis en diverses occasions au cours de la prospection et à cette dernière étape pour la livraison de l'étude finale détaillée (*v.g.* Nolin et Drolet 1983a,b).

Cette dernière rencontre se fait généralement sur trois jours. Une demi-journée est d'abord consacrée à la présentation générale de l'étude au moyen d'un diaporama. Puis le reste du temps est alloué à une visite guidée du territoire couvert par le projet. À chacun des sites visités, un profil représentatif généralement situé à proximité de celui échantillonné (*benchmark site*) est présenté aux participants. Cette description est suivie de plusieurs commentaires concernant les interprétations agronomiques ou non-agronomiques selon les préoccupations des personnes présentes. En milieu agricole, le propriétaire du site visité entretient l'auditoire sur les limitations, l'aménagement et la productivité du sol observé en comparaison avec les autres sols de sa ferme ou des fermes environnantes. La présence dans le groupe de divers experts provenant de milieux différents (université, bureau local et régional d'agriculture, industrie, *etc.*) assure la poursuite de la discussion sur les interprétations. Cinq à huit sites par jour peuvent habituellement être visités de cette façon.

Souvent négligée, cette dernière étape n'en est pas moins très importante au succès global du projet et surtout à la poursuite à long terme des activités en matière de prospection pédologique (Powell 1986, Goddard 1988). On doit donc faire toute la publicité nécessaire pour que tous les utilisateurs potentiels de données pédologiques

du territoire étudié et qui n'ont pas été identifiés au début du projet gagnent les rangs des personnes intéressées à se procurer l'étude pédologique ainsi produite. Plus ils seront nombreux, plus élevés seront les bénéfices de cette étude comparativement aux coûts de sa réalisation.

5. **Conclusion**

La méthodologie proposée ici pour la réalisation des études pédologiques détaillées suit une démarche itérative basée sur la méthodologie scientifique. Elle consiste à établir un prémodèle, à le vérifier par un réseau de contrôle faisant appel aux techniques d'échantillonnage appropriées et à le corriger jusqu'à l'obtention d'un modèle acceptable répondant aux normes de qualité généralement admises à ce niveau d'intensité de prospection (NIP 2).

Cette approche conduit à une stratégie d'inventaire présentant de nombreux avantages :

1) **gain dans la célérité des travaux** de prospection pédologique (économie de temps et d'argent) par l'utilisation d'une stratégie basée sur l'allocation d'un nombre d'observations proportionnel à la variabilité présumée ou observée des aires stratifiées,

2) **gain dans la fiabilité du relevé** en assurant une meilleure corrélation entre les différentes équipes assignées à la prospection d'un territoire donné (*v.g.* un comté) de même qu'entre les différents projets de prospection réalisés ou à réaliser dans la région visée (*v.g.* la plaine de Montréal) par un contrôle constant de la qualité du produit par le responsable du projet aux différentes étapes de la prospection,

3) **gain dans la précision du relevé** par l'utilisation d'un réseau de sondage et d'échantillonnage ajusté à la complexité de la structure d'organisation de la couverture pédologique et à la variabilité des descripteurs étudiés,

4) **visibilité accrue des résultats de recherche** au public par la publication rapide de rapports préliminaires (*v.g.* Nolin 1983c, Lamontagne 1985), la présentation des résultats lors de réunions scientifiques (*v.g.* Nolin 1985b, Grenon 1986b) ou d'excursions pédologiques à caractère scientifique ou technique (*v.g.* Nolin 1989).

5) **facilité de gestion d'un projet** de prospection par l'identification d'étapes, de délais, de normes et de produits livrables.

Bien qu'elle ait été définie ici pour rencontrer les besoins et les normes de qualité des études pédologiques de NIP 2 et que son application ait été démontrée en terrain plat, la méthodologie proposée repose sur certains principes philosophiques que l'on peut qualifier d'"universels" en matière d'inventaire et qui permettent ainsi d'en étendre la portée à tous les niveaux (NIP) et types (pédologiques, écologiques, forestiers, *etc.*) d'inventaire ainsi qu'à tous les types de terrains. L'approche par niveau de perception décroissant est en effet aussi efficace pour réaliser des études de NIP 3 que pour réaliser celles de NIP 2. Ainsi, une étude préliminaire de la structure d'organisation des composantes du milieu au NIP 4 facilite d'autant la compréhension du modèle d'organisation de la couverture pédologique au NIP 3.

Les normes proposées différeront cependant selon le NIP et le type d'inventaire considéré. Il importe toutefois de se rappeler que la fiabilité et la précision d'une étude demeurent toujours fonction de l'effort et de la stratégie d'échantillonnage retenus et de la complexité du milieu. Conséquemment, il en est de même du coût de la prospection. Le choix initial de l'échelle cartographique d'une étude fixée par les objectifs du relevé doit donc aussi tenir compte de ces diverses considérations.

REMERCIEMENTS

Les auteurs aimeraient remercier tous les membres de l'Équipe pédologique du Québec du Centre de recherches sur les terres et les ressources biologiques pour leur précieuse collaboration dans la mise au point de cette méthodologie de cartographie des sols. Leurs commentaires en a permis l'amélioration au cours de ces dix dernières années. Des remerciements particuliers sont adressés à M. Mario Deschênes pour le montage des figures et à Mme Marcelle Fortier pour la dactylographie du texte. Ce bulletin technique a été soumis à la lecture critique des personnes suivantes: MM. Jacques Bélanger, Michel J. Caillier et Marc R. Laverdière de l'Université Laval, Keith W.G. Valentine de l'A.C.D.I., Dominique Carrier du Service des sols du MAPA et Jean-Pierre Ducruc de la Division de la cartographie écologique du Ministère de l'Environnement du Québec; nous les remercions pour leurs remarques constructives.

BIBLIOGRAPHIE

Arnold, R.W. 1979a. Strategies for field resource inventories. Agronomy mimeo No 79-20. Dept. of Agronomy, Cornell Univ. Ithaca, New-York. 36 pp.

Arnold, R.W. 1979b. Map unit test models. Dept. of Agronomy, Cornell Univ. Ithaca, New-York. Miméographie non numérotée. 8 pp.

Baize, D. 1986. Couvertures pédologiques, cartographie et taxonomie. Sci. Sol, Assoc. Fr. Etude Sol **24**: 227-243.

Baize, D. et Girard, M.C. 1988. Référentiel pédologique français. 2ième Proposition. Publication conjointe de l'A.F.E.S. et de l'I.N.R.A., Paris. pp. 3-19.

Baril, R. et Mailloux, A., 1950. Étude pédologique des sols du comté de Château-guay. Bulletin technique No 2. Division des Sols. Ministère de l'Agriculture. 125 pp. (1 carte).

Beckett, P.H.T. et Bie, S.W. 1976. Reconnaissance for soil survey. II. Pre-survey estimates of the intricacy of the soil pattern. J. Soil Sci. **27**: 101-110.

Bigler, R.J. et Liudahl, K.J. 1984. Estimating map unit composition. Soil Surv. Horiz. **25**: 21-25.

Boulaine, J. 1966. Sur la précision des cartes pédologiques. Cah. O.R.S.T.O.M., ser. Pedol. **4**: 3-7.

Boulaine, J. 1980. Pédologie appliquée. Masson, Paris. 220 pp.

Boulaine, J. 1989. Histoire des pédologues et de la science des sols. I.N.R.A., Paris. 297 pp.

Bourgeon, G. et Bertrand, R. 1983. Organisation de la "couverture pédologique" et précision de sa cartographie. Analyse d'un exemple. Bull. Assoc. Fr. Étude Sol **1**: 49-63.

Bridges, E.M. 1982. Techniques of modern soil survey. Pages 28-57 *in* E.M. Bridges et D.A. Davidson, eds. Principles and applications of soil geography. Longman. New-York.

Buol, S.W., Hole, F.D. et McCracken, R.J. 1980. Soil genesis and classification. 2ième édition. Iowa State University Press, Ames. 404 pp.

Burrough, P.A. 1983a. Multiscale sources of spatial variation in soil. I. The application of fractal concepts to nested levels of soil variation. J. Soil Sci. **34**: 577-597.

Burrough, P.A. 1983b. Multiscale sources of spatial variation in soil. II. A non-Brownian fractal model and its application in soil survey. J. Soil Sci. **34**: 599-620.

Burrough, P.A., Beckett, P.H.T. et Jarvis, M.G. 1971. The relation between cost and utility in soil survey. II. Conventional or free survey. J. Soil Sci. **22**: 368-381.

Cann, D.B. et Lajoie, P. 1943. Étude des sols des comtés de Stanstead, Richmond, Sherbrooke et Compton dans la province de Québec. Bulletin technique No 45. Service des fermes expérimentales. Ministère fédéral de l'Agriculture. 63 pp. (1 carte).

Cline, M.G. 1981. Objectives and rationale of the Cornell study of soil resource inventories. Pages 7-14 *in* Soil Resource Inventory Group. Soil resource inventories and development planning. SMSS/SCS/USDA. Washington.

Coen, G.M., ed. 1987. Manuel de prospections pédologiques. Vol. 1. CRT Contrib. No 85-30. Direction générale de la recherche. Agriculture Canada.

Comité d'experts sur la propection pédologique d'Agriculture Canada. 1983. Système d'informatique des sols au Canada (SISCan). Manuel de description des sols sur le terrain. Révision 1982. IRT Contrib. No 82-52. Agriculture Canada. 109 pp.

Cossette, J.M. et Grenon, L. 1986. Une enquête sur l'utilisation des cartes pédologiques au Québec. Revue Carto-Québec **7**: 8-9.

Cossette, J.M., Nolin, M.C. et Plante, M. 1986. La saisie des données pédologiques sur le terrain à l'aide d'un microordinateur portatif. Ann. ACFAS **54**: 406 (Résumé).

Curtis, L.F., Doornkamp, J.C. et Gregory, K.J. 1965. The description of relief in field studies of soils. J. Soil Sci. **16**: 16-30.

Dent, D. et Young, A. 1981. Soil survey and land evaluation. George Allen & Unwin. London. 278 pp.

Dijkerman, J.C. 1974. Pedology as a science: the role of data, models and theories in the study of natural soil systems. Geoderma **11**: 73-93.

dos Santos, H.G. 1978. Some strategies of quality control for reconnaissance soil survey. Thèse de maîtrise. Cornell University. 128 pp.

Drolet, J.Y., Nolin, M.C. et Baril, R.W. 1982. Utilisation des transects aléatoires stratifiés à la levée de reconnaissance des sols. Ann. ACFAS **49**: 130 (Résumé).

Dubé, J.C. 1978. Propositions méthodologiques au sujet du levé préliminaire des terrains effectué par interprétation de la carte topographique et des photos aériennes d'un territoire. Miméographie non numérotée. Service de recherche en sols, MAPAQ. 33 pp.

Forbes, T.R. et Eswaran, H. 1981. Soil survey report and map checklist. Pages 323-337 *in* Soil Resource Inventory Group. Soil resource inventories and development planning. SMSS/SCS/USDA. Washington.

Forbes, T.R., Rossiter, D. et Van Wambeke, A. 1982. Guidelines for evaluating the adequacy of soil resource inventories. SMSS/SCS/USDA Technical monograph No 4. Washington. 50 pp.

Gaucher, G. 1981. Utilisation en pédologie des données de la géomorphologie. Pages 365-386 *in* G. Lelotte, ed. Traité de pédologie. Tome II: Les facteurs de la pédogénèse". B-4820 Dison.

Gérardin, V. 1989. Introduction à l'écologie forestière. L'Aubelle, No 73 (suppl.). 8 p.

Gérardin, V., Ducruc, J.P. et Marzell, L. 1990. Pour une révision fondamentale du programme de cartographie écologique du territoire forestier. L'Aubelle, No 78 (suppl.). 6 p.

Goddard, T.M. 1988. Planning key to successful distribution of soil report. Soil Surv. Horiz. **29**: 98-99.

Goosen, D. 1967. Aerial photo interpretation in soil survey. Soils Bull. No 6. Rome. 55 pp.

Grenon, L. 1986a. Étude pédologique du comté de Rouville. Échelle 1 : 50 000. Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 121 pp. (1 carte).

Grenon, L. 1986b. Étude pédologique du comté de Rouville. Ann. ACFAS **54**: 406 (Résumé).

Groupe de travail sur les systèmes cartographiques (G.T.S.C.). 1982. Un système de cartographie des sols pour le Canada : révisé. Institut de recherche sur les terres. Contribution No 142. Agriculture Canada. 98 pp.

Gruijter de, J.J. et Marsman, B.A. 1985. Transect sampling for reliable information on mapping units. Pages 150-163 *in* D.R. Nielsen et J. Bouma, eds. Soil spatial variability. Pudoc. Wageningen, Netherlands.

Jain, M.B. et Raheja, P.C. 1967. Critical path scheduling in integrated reconnaissance land survey. J. Indian Soc. Soil Sci. **15**: 127-133.

Jurdant, M., Bélair, J.L., Gérardin, J. et Ducruc, J.P. 1977. L'inventaire du Capital-Nature. Méthode de classification et de cartographie écologique du territoire (3[ième] approximation). Service des études écologiques régionales. Direction régionale des terres. Pêches et Environnement Canada, Québec. 202 pp.

Kloosterman, B., Lavkulich, L.M. et John, M.K. 1974. Use of a soil data file for pedological research. Can. J. Soil Sci. **54**: 195-204.

Lamontagne, L. 1985. Étude pédologique à l'échelle détaillée (1 : 20 000) des sols du comté de Verchères. Rapport préliminaire. Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 217 pp. (1 carte).

Lamontagne, L. 1991. Étude pédologique du comté de Saint-Hyacinthe (Québec). Vol. 1 Description et interprétation des unités cartographiques. 267 pp. (6 feuillets). Vol. 2 Description et classification des séries de sols. 110 pp. CRT contrib. No 89-25. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada.

Lamontagne, L. et Nolin, M.C. 1990. Étude pédologique du comté de Verchères (Québec). Vol. 1 Description et interprétation des unités cartographiques. 319 pp. (7 feuillets). Vol. 2 Description et classification des séries de sols. 130 pp. CRT Contrib. No 87-92. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada.

Lemieux, G. 1991. La cartographie écologique, si essentielle à l'aménagement rationnel des forêts succombera-t-elle aux querelles de mots et d'école?. L'Aubelle No 83 (suppl.). 3 pp.

Levin, S.A. 1992. The problem of pattern and scale in ecology. Ecology **73**: 1943-1967.

Macmillan, R.A. 1982. Quantification of soil property and map unit variability. Thèse de maîtrise. University of Alberta. Edmonton. 194 pp.

Mailloux, A. et Godbout, G. 1954. Étude pédologique des sols des comtés d'Huntingdon et Beauharnois. Bulletin technique No 4. Division des Sols. Ministère de l'Agriculture. 221 pp. (2 cartes).

Marcoux, R. 1980. Étude pédologique des îles d'Orléans, aux Coudres et aux Grues. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation. Version préliminaire. 64 pp. (2 cartes).

Martin, A. et Nolin, M.C. 1991. Étude pédologique du comté de Chambly (Québec). Vol. 1 Description et interprétation des unités cartographiques. 369 pp. (2 feuillets). Vol. 2 Description et classification des séries de sols. 144 pp. CRT Contrib. No 89-26. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada.

McKeague, J.A., Day, J.H. et Shields, J.A. 1971. Evaluating relationships among soil properties by computer analysis. Can. J. Soil Sci. **51**: 105-111.

McKibbin, R.R. et Stobbe, P.C. 1936. Organic soils of southwestern Quebec. First report of the Quebec soil survey committee. Department of Agriculture. Ottawa. 74 pp. (1 index et 18 cartes).

Moon, D.E., Hall, J.W. et Selby, C.J. 1987. A procedure for determining ground truth reliability for land resource inventories. Land Resource Research Centre, Agriculture Canada. Vancouver. 39 pp.

Nolin, M.C. 1982. Description pédologique des pédopaysages du comté de Richelieu. Ann. ACFAS **49**: 131 (Résumé).

Nolin, M.C. 1983a. Document d'entrée des données sur la fiche-transect. Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 29 pp.

Nolin, M.C. 1983b. Concepts, philosophie d'approche et propositions méthodologiques pour les études cartographiques détaillées des sols (niveau 2). Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 79 pp.

Nolin, M.C. 1983c. Étude pédologique à l'échelle détaillée (1 : 20 000) des sols du comté de Richelieu. Rapport préliminaire. Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 54 pp. (6 feuillets).

Nolin, M.C. 1985a. Étude pédologique du comté de Chambly. Étude semi-detaillée à l'échelle de 1 : 50 000ième. Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 157 pp. (1 carte).

Nolin, M.C. 1985b. Les sols du comté de Chambly : nature et potentiel. Ann. ACFAS **52**: 316 (Résumé).

Nolin, M.C. 1989. Les sols mal drainés de la région de Montréal : classification, aménagement et conservation. Itinéraire de l'excursion No 1. 35[ième] Congrès annuel de la Soc. Can. Sci. Sol. Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 27 pp.

Nolin, M.C. et Caillier, M.J. 1992a. La variabilité des sols. I - Composantes et causes. Agrosol **5(1)**: 15-20.

Nolin, M.C. et Caillier, M.J. 1992b. La variabilité des sols. II - Quantification et amplitude. Agrosol **5(1)**: 21-32.

Nolin, M.C. et Caillier, M.J. 1992c. La variabilité des sols. III - Stratégies d'échantillonnage. Agrosol **5(2)**: (sous presse).

Nolin, M.C. et Drolet, J.Y. 1983a. Itinéraire d'une excursion pédologique dans le comté de Richelieu. 1. Section ouest de la rivière Yamaska. Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 50 pp.

Nolin, M.C. et Drolet, J.Y. 1983b. Itinéraire d'une excursion pédologique dans le comté de Richelieu. 2. Section est de la rivière Yamaska. Équipe pédologique du Québec, Agriculture Canada. 37 pp.

Nolin, M.C. et Lamontagne, L. 1990. Étude pédologique du comté de Richelieu (Québec). Vol. 1 Description et interprétation des unités cartographiques. 287 pp. (6 feuillets). Vol. 2 Description et classification des séries de sols. 115 pp. CRT Contrib. No 87-74. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada.

Nolin, M.C. et Lamontagne, L. 1991. Fiabilité d'une étude pédologique détaillée réalisée en terrain plat. Can. J. Soil Sci. **71**: 339-353.

Nolin, M.C., Wang, C. et Caillier, M.J. 1989. Fertility grouping of Montreal Lowlands soil mapping units based on selected soil characteristics of the plow layer. Can. J. Soil Sci. **69**: 525-541.

Nolin, M.C., Caillier, M.J. et Wang, C. 1991. Variabilité des sols et stratégie d'échantillonnage dans les études pédologiques détaillées de la plaine de Montréal. Can. J. Soil Sci. **71**: 439-451.

Nowland, J.L. 1981. Project plans, project monitoring and correlation procedures. Pages 80-120 *in* J.H Day, ed. Compte rendu de la 3[ième] réunion annuelle du comité d'experts sur la prospection pédologique. Ottawa.

Ouellet, L. 1977. Premier rapport annuel de l'Institut de recherches pédologiques du Québec. 18 pp.

Powell, J.C. 1986. Innovations for promoting the use of soil survey information. Soil Surv. Horiz. **27**: 31-36.

Robert, D. et St-Laurent, R. 1990. Le cadre écologique forestier. Partie intégrante du programme de connaissance des ressources forestières du Québec. L'Aubelle No 77 (suppl.) 8 pp.

Rompré, M., Laflamme, G., Ouellet, L., Carrier, D., Dubé, J.C. et Pagé, F. 1984. Étude pédologique du comté d'Arthabaska. Service de recherche en sols. Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec. 96 pp. (2 cartes).

Rourke, J.D. 1981. Legend design for various kinds of soil surveys. Pages 47-52 *dans* Soil Resource Inventory Group. Soil resource inventories and development planning. SMSS/SCS/USDA. Washington.

Ruhe, R.V. 1975. Geomorphology, geomorphological processes and surficial geology. Houghton Mifflin Co., Boston. 246 pp.

Simonson, R.W. 1959. Outline of a generalized theory of soil genesis. Soil Sci. Soc. Am. Proc. **23**: 152-156.

Sneddon, J.I., Cukor, N. et Farstad, L. 1972. A technique for rapidly determining topographic class from topographic maps. Can. J. Soil Sci. **52**: 518-519.

Soil resource inventory group. 1981. Soil resource inventories and development planning. Proceedings of workshops at Cornell University (1977-1978). Technical monograph No 1. SMSS/SCS/USDA. Washington. 407 pp.

Soil survey staff. 1966. Aerial photo-interpretation in classifying and mapping soils. Handbook No 294. Soil Conservation Service. Washington D.C. 90 pp.

Soil survey staff. 1975. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and interpreting soil surveys. Handbook No 436. U.S.D.A. Washington D.C. 754 pp.

Steers, C.A. et Hajek, B.F. 1979. Determination of map unit composition by a random selection of transects. Soil Sci. Soc. Am. J. **43**: 156-160.

Tecknip. 1970. Manuel de photo-interprétation. Publié en 6 fascicules. Éditions Tecknip. Paris. 245 pp.

Valentine, K.W.G. 1986. Soil resource surveys for forestry. Soil, terrain and site mapping in boreal and temperate forests. Clarendon Press. Oxford. 147 pp.

Valentine, K.W.G. et Chang, D. 1980. Map units in controlled and uncontrolled legends. Can. J. Soil Sci. **60**: 511-516.

Valentine, K.W.G. et Hamlen, C.J. 1986. Nature of boundaries on natural resource maps. Report to Lands Directorate. Environnement Canada, Ottawa. 22 pp.

Valentine, K.W.G. et Lidstone, A. 1985. Specifications for soil survey intensity level (survey order) in Canada. Can. J. Soil Sci. **65**: 543-553.

Valentine, K.W.G., Naughton, W.C. et Navai, M. 1981. A questionnaire to users of soil maps in British Columbia : Results and implications for design and content. Can. J. Soil Sci. **61**: 123-135.

Vauclin, M. 1982. Méthodes d'étude de la variabilité spatiale des propriétés d'un sol. Pages 9-43 *in* G. Monnier, ed. Variabilité spatiale des processus de transfert dans les sols. Colloq. d'INRA No 15.

Vink, A.P.A. 1963. Planning of soil surveys in land development. Veenman et Zonen. Wageningen, Netherlands. Public. No 10. 53 pp.

Wang, C. 1982. Variability of soil properties in relation to size of map unit delineation. Can. J. Soil Sci. **62**: 657-662.

Wang, C. 1984. La méthode du transect et son application aux problèmes de la prospection pédologique. CRT Contrib. No 82-02. Direction générale de la recherche, Agriculture Canada. 35 pp.

Webster, R. 1985. Quantitative spatial analysis of soil in the field. Adv. Soil Sci. 3: 1-70.